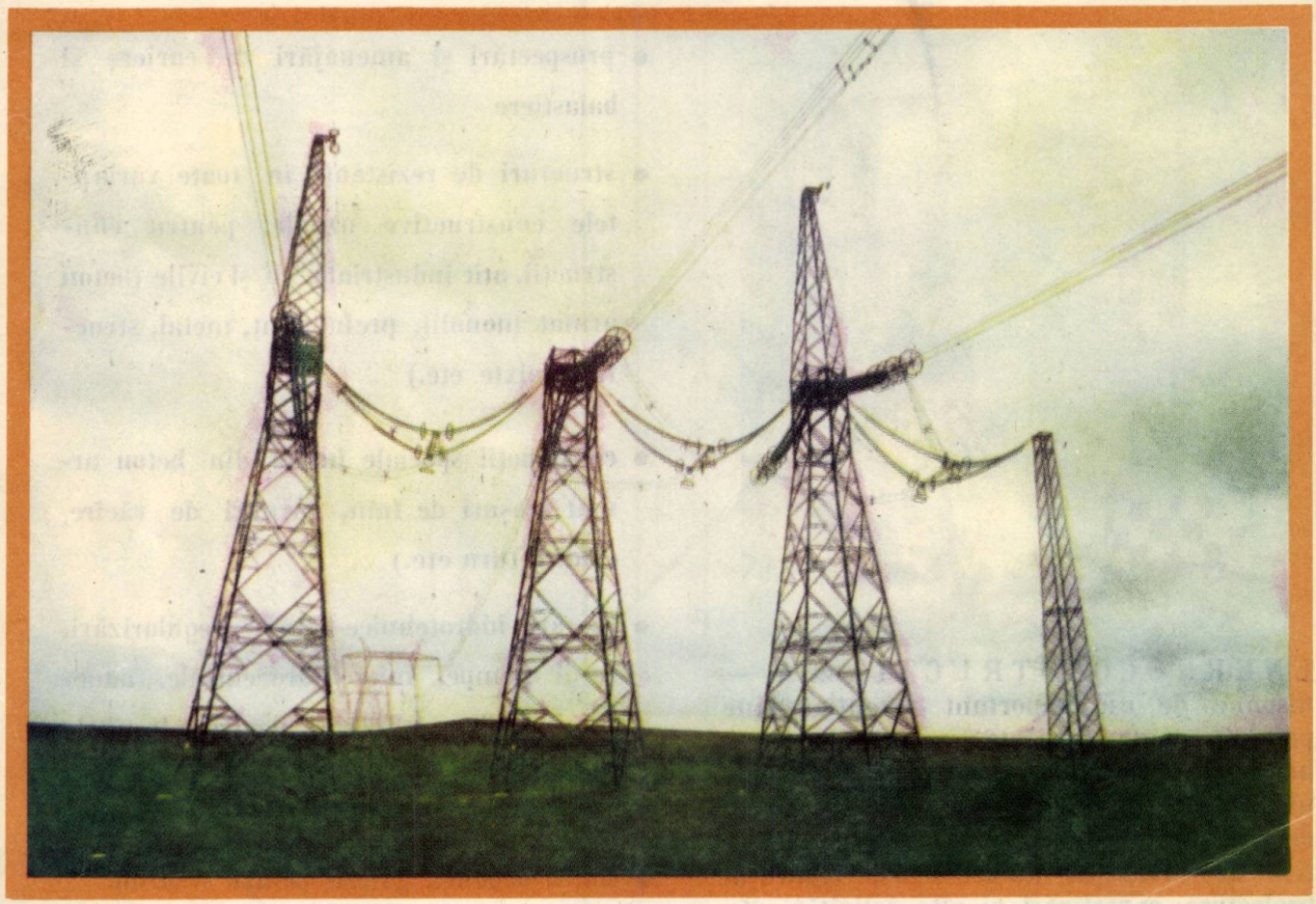
E 2039/A

ANUL
41

energetica

seria B

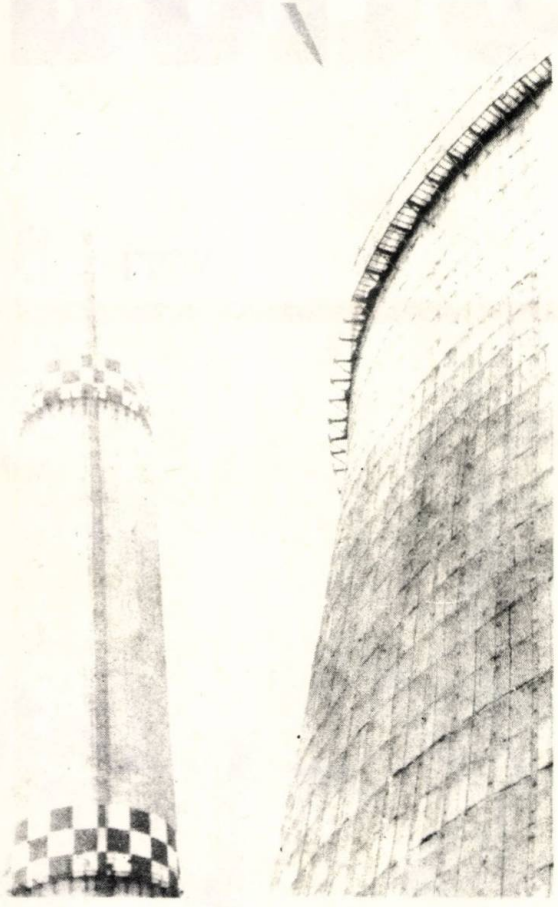


2

martie-aprilie 1993

ENERGOCONSTRUCŢIA S. A.
71322 Bucureşti România
Cal. Dorobanţilor nr. 103 sector 1
Tel.:79.60.20. ; Telex:10179 ; Fax:79.68.25.

ENERGOCONSTRUCŢIA S.A.



ENERGOCONSTRUCŢIA S. A. — dispune de un important potenţial bine pregătit pentru variate specialităţi, cu o bogată experienţă şi, posedînd mijloace tehnice adecvate, poate stabili diferite forme de colaborare pentru realizarea de obiective de investiţii, modernizări, reparaţii, proiectare, expertizări şi alte activităţi din domeniul construcţiilor.

Execută lucrări privind :

- clădiri civile şi industriale
- amenajări terasiere de mare complexitate
- prospectări şi amenajări de cariere şi balastiere
- structuri de rezistenţă în toate variantele constructive uzuale, pentru construcţii, atît industriale, cît şi civile (beton armat monolit, prefabricat, metal, structuri mixte etc.)
- construcţii speciale înalte din beton armat (coşuri de fum, turnuri de răcire, clădiri turn etc.)
- lucrări hidrotehnice-baraje, regularizări, staţii pompe, microhidrocentrale, aducţiuni şi diverse lucrări pentru circuitele hidrotehnice ale termocentralelor, alimentări cu apă
- staţii, depouri, galerii pentru metrou
- izolaţii termice, hidrofuge anticorosive

ENERGETICA

REVISTA DE SPECIALITATE A ENERGETICIENILOR DIN ROMÂNIA

ANUL 41 NR. 2, Seria B MARTIE—APRILIE 1993

ISSN : 1220—5141

Revista ENERGETICA a fost înființată în anul 1953, continuînd tradiția vechilor publicații inginerești care au avut preocupări în domeniul energiei, ca de exemplu :

— Diaru pentru vulgarizarea științeloru naturale și fizice (1870—1882) ;
— Buletinul Societății Politehnice (1887—1944) :
— Buletinul Asociației Generale a Inginerilor din România—AGIR (1919—1946) ;
— ENERGIA, editată de ing. Dumitru Leonida (1920) ;
— Buletinul Asociației Producătorilor și Distribuitorilor de Energie Electrică—APDE (1932—1944) ;
— Buletinul Institutului Român de Energie — IRE (1933 — 1944)

Revista apare alternativ în două serii :
— seria A, care tratează probleme de surse de energie, conversie de energie, poluare a mediului înconjurător, utilizare a căldurii etc. ;
— seria B, care tratează probleme electrice, inclusiv ale centralelor electrice, stațiilor electrice, ale liniilor de transport și distribuție a energiei electrice, sisteme electroenergetice etc.

Fiecare serie are 6 numere pe an.

Opiniile exprimate în articolele publicate în revista ENERGETICA aparțin autorilor acestora.

Orice reproducere integrală sau parțială, prin indiferent ce procedeu, a materialelor apărute în revista ENERGETICA poate fi făcută numai cu aprobarea biroului de redacție. Sînt autorizate numai citările destinate lucrărilor științifice și volumelor în care acestea sînt inserate.

CUPRINS

EDITORIAL 55

REȚELE ELECTRICE

CLAUDE GARY : Efectele biologice ale cîmpului magnetic din punctul de vedere al specialistului electrician 56—68

NICOLAE GOLOVANOV, ADRIANA TRUȘCĂ : Protecția stațiior electrice contra loviturilor directe de trăsnet 69—73

ORIENTĂRI IN ENERGETICĂ

ION CONECINI : Cooperarea internațională în sectorul electric 74—81

CONDUCEREA ȘI AUTOMATICA SISTEMELOR ELECTROENERGETICE

FLAVIUS DAN ȘURIANU : Experiment și simularea numerică de insularizare în sistemul electroenergetic a combinatului siderurgic Hunedoara 82—86

PENTRU TINERII SPECIALIȘTI

ROMULUS SFICHI : Aspecte, precizări și comentarii privind calculul de dimensionare a filtrelor de absorbție de armonici superioare în condițiile nedepășirii sarcinilor admisibile în regim de durată a condensatoarelor 87—92

MANIFESTĂRI TEHNICO-ȘTIINȚIFICE

VIRGIL ALEXANDRESCU, DUMITRU IVAS : Simpozionul „Tehnici noi de conducere a rețelelor de distribuție" Iași, octombrie 1992 93

GLEB DRĂGAN : Utilizarea eficientă a resurselor energetice 86

PRIMIM DE LA : Asociația Tehnică pentru Eficiența Energetică din România 94

RECENZIE

VASILE NITU : Renauld Guiquel „Introduction aux problemes energetiques globaux", Paris, 1992 95—96

DE PERSONIS 92, 96 97,

DIN ISTORIA ENERGETICII

GLEB GDRĂGAN : Aniversare 98

Our reviev publishes ADVERTSMENTS for your PRODUCTS, TECHNOLOGIES SERVICES, etc.

Please, contact us at the address:

Revista ENERGETICA

ICEMENERG, B-dul Energeticienilor nr. 8,

Bucureşti III, RO 79619

Phone: 622.06.92; 621.46.30/251

Fax: 00400129315

Telex: 10783

COLEGIUL DE REDACŢIE

BIROUL DE REDACŢIE: dr. ing. Eugeniu PAVEL — preşedinte, redactor-şef; prof. dr. ing. Dumitru Cezar IONESCU — redactor-şef adjunct; dr. ing. Jean CONSTANTINESCU — redactor-şef adjunct; ing. Nicolae NICULESCU — secretar de redacţie; ing. Gabriel POPESCU — reprezentant RENEL; dr. ing. Ioan GANEA — director Editura Tehnică; ing. Mihai NICOLAU — reprezentant ICEMENERG.

MEMBRI: prof. dr. ing. Victor ATHANASOVICI; conf. dr. ing. Adrian BADEA; prof. dr. ing. Cornel BIANCHI; ing. Iuliu BLECHTAL; ing. Paul CARTIANU; dr. ing. Mircea CÂRDU; chim. Mihai CHIRICĂ; dr. ing. Mihai CONSTANTINESCU; ing. Vladimir CONSTANTINESCU; prof. dr. ing. Dorin CRISTESCU; prof. dr. ing. Nicolae DĂNILĂ; dr. ing. Mario DUMA; ing. Alexandru FLORESCU; dr. ing. Laurenţiu GOIA; dr .ing. Dan GOLICIU; prof. dr. ing. Dumitru IVAŞ; dr. ing. Gheorghe LUCA; dr. chim. Maria MAFTEI; dr. ing. George MANOLESCU; ing. Alexandru MIHĂILĂ; ing. Cornel MOŢIU; prof. dr. ing. Costin MOŢOIU; conf. dr. ing. Virgil MUŞATESCU; prof. dr. ing. Viorel NEGRU; conf. dr. ing. Valeriu NISTREANU; ing. Cornel PÎSLARU; prof. dr. ing. Alexandru POEATĂ; dr. ing. Teodor POPA; dr. ing. Marius POMÂRLEANU; dr. ing. Anca POPESCU; ing. Constantin POPESCU; ing. Miron POPESCU; ing. Gabriel ROMAŞCU; ing. Anton ROŞU; ing. Margarios SALGIAN; ing. Anton VLĂDESCU; ing. Gheorghe VOICU; ing. Dinu VOINEA

REDACTOR: Ana Maria CHIVU

Redacţia şi administraţia:
ICEMENERG, B-dul Energeticienilor nr. 8, CP 79619, Bucureşti
Telefon: 622 06 92; 6214630/251
Telex: 10783, Fax: 00400 129315

Coperta I — LEA 400 kV Tulcea — Constanţa

S.C. UNIVERSUL S.A. — c. 3748

EDITORIAL

În mod cert, în vechiul regim cercetarea și dezvoltarea nu se bucurau nici de condițiile și nici de statutul pe care le meritau.

La precaritatea posibilităților de informare și a bazei tehnico-materiale se adaugă o concepție rudimentară asupra rosturilor acestei activități. Canoane precum „ciclul complet", „aplicabilitate imediată", „bizuirea exclusivă pe forțele din țară" și altele de acest fel, aplicate într-un spirit îngust, împingeau cercetarea aplicativă spre lucrări inginerești cu aport creator minor.

Eforturile colectivelor de cercetare erau nu de puține ori deturnate spre rezolvarea de probleme de execuție, aprovizionare și chiar de exploatare, pentru care nu erau pregătite.

S-a ajuns treptat la creșterea exagerată a colectivelor și la imposibilitatea aplicării unor criterii adecvate de selecție a personalului cu aptitudini creatoare.

S-a forțat realizarea „in situ" (unde se încerca „omologarea") unor rezultate imature cu consecințe dezastruoase chiar asupra credibilității și statutului cercetătorului.

Cei trei ani care au urmat Revoluției au pus cercetarea și dezvoltarea la alte grele încercări. Penuria de fonduri pentru dezvoltare industrială și tehnologică, ca și înțelegerea eronată a unor mecanisme ale economiei de piață, au creat o adevărată incertitudine asupra viitorului institutelor. Pentru a supraviețui, moștenind și unele malformații dimensionale, acestea au fost constrînse să adopte criterii de stimulare a personalului, axate aproape exclusiv pe valoarea și ritmicitatea încasărilor din contracte.

Aceste criterii au solvat temporar existența institutelor, dar, afectînd negativ calitatea rezultatelor cercetărilor, fac și mai nesigură perspectiva. Ele sînt nespecifice cercetării-dezvoltării. În absența unui sistem de normare a muncii, imposibil de aplicat în cercetare-dezvoltare, motivația bazată pe valoarea contractului este lipsită de conținut. De asemenea, fapt bine cunoscut, cercetarea-dezvoltarea nu reprezintă în sine un centru de profit și deci nu-și poate asigura singură mijloacele necesare. În plus, fără o coerență programatică, eficiența lucrărilor de cercetare-dezvoltare — dictate de iluzorii cereri și oferte — este îndoielnică.

ICEMENERG a resimțit din plin consecințele acestor evoluții.

În prezent institutul traversează o perioadă de clarificare și redefinire a activității. Cercetarea-dezvoltarea s-a axat pe un număr limitat de programe (tehnologii de mentenanță; sisteme informatice; instrumentație specifică RENEL; soluții de retehnologizare; sisteme tehnologice avansate; conservarea energiei și a mediului; tehnologii de exploatare a CNE; îndeplinirea normelor UCPTE; tehnologii de instruire a personalului RENEL) corespunzătoare priorităților și mijloacelor pe care RENEL le poate aloca în aceste condiții.

Criteriile de stimulare a personalului din diviziile de cercetare-dezvoltare se leagă acum de calitatea și de eficiența rezultatelor obținute și nu de valoarea contractelor încheiate.

Se reformulează obiectivele de bază ale cercetării-dezvoltării și respectiv ale ingineriei-consultanței.

În esență, cercetarea-dezvoltarea trebuie să genereze informații și componente tehnologice noi, omologate, în domenii în care acelea folosite în prezent sînt nesatisfăcătoare.

Ingineria trebuie să ofere și să garanteze sisteme tehnologice integrale, pe care să le realizeze „in situ". Soluțiile tehnice aplicate, proprii sau preluate din rezultatele activității de cercetare-dezvoltare, trebuie să fie omologate. Desfășurarea lucrărilor și procedurile de asigurare a calității sînt bine reglementate.

Între cercetare-dezvoltare și inginerie se stabilesc legături puternice, în ambele sensuri. Se redefinesc responsabilitățile manageriale.Coordonatorii de programe răspund de eficiența fondurilor alocate, de îndeplinirea obiectivelor specifice. Coordonatorii de divizii și laboratoare trebuie să asigure utilizarea integrală și perfecționarea resurselor umane și tehnice. Cele două categor responsabilități pot naște unele contradicții, dar sistemul capătă dinamismul necesar consolidăr

dr. ing. JEAN CONSTANTIN
redactor-șef adjunct

Efectele biologice ale cîmpului magnetic din punctul de vedere al specialistului electrician

Les effets biologiques des champs magnétiques. Que peut dire l'électricien à ce sujet?

CLAUDE GARY

Consilier științific la Electricité de France, Centrul de Cercetări, Clamart

Conseill scientifique, Electricité de France, Centre de recherches, Clamart

Descriptori: cîmp magnetic, efecte biologice

Articolul cuprinde două părți importante.

În prima parte sînt amintite metodele de calcul al cîmpului magnetic în apropierea liniilor electrice aeriene și se dau cîteva exemple tipice de valori ale cîmpului la foarte înaltă, medie și joasă tensiune. Sînt indicate, de asemenea, cîteva valori ale cîmpului și în domeniul casnic.

În a doua parte se analizează interacțiunile între cîmpul magnetic și organismele vii din punctul de vedere strict al specialistului electrician. Sînt identificate și analizate trei tipuri de interacțiuni: curenții induși prin efectul Faraday — acțiunea directă asupra substanțelor feromagnetice din țesuturile vii — forțele Laplace asupra ionilor în deplasare.

The article consists of two important parts.

The author mentions in the first part the computation methods of magnetic field by the aerial electric lines and several examples are given for typical field values very high, high, mean and low voltage. There are also given several field values within houshold.

The second part of the article is a study on the interactions between the magnetic field and the beings only from the electrical specialist point of view. There are identified and analysed three types of interaction: induced currrents by Feraday effect — the direct action on the feromagnetic components within beings — Laplace forces on the moving ions.

1. Introducere

După ce timp de peste două decenii biologii și medicii s-au preocupat de efectele posibile ale cîmpului electric asupra sănătății omului și în special de eventuala lui influență asupra organismelor vii, asistăm în prezent la publicarea multor lucrări în care aceleași întrebări sînt însă puse legat de cîmpul magnetic.

Este, așadar, esențial să se examineze problema fizicii interacțiunilor între cîmpul magnetic și organismele vii prin prisma specialistului electrician. Această necesitate se impune

1. Introduction

Après que biologistes et médecins se soient préoccupés pendant plus de deux décennies d'effets possibles des champs électriques sur la santé de l'homme, et plus généralement de leur influence éventuelle sur les organismes vivants, on assiste actuellement à la publication de nombreux travaux, où les mêmes questions sont posées à propos des champs magnétiques.

Il est donc essentiel que soit examinée la question de la physique des interactions entre

şi pentru a furniza biologului indicaţii asupra naturii şi ordinii de mărime a fenomenelor electrice care apar, aducîndu-i astfel un sprijin indispensabil în interpretarea eventualelor efecte observate.

Lucrarea îşi propune să aducă o serie de informaţii privind cîmpul magnetic şi se constituie ca o completare la studiul privind efectele biologice ale cîmpului electric prezentat la Colocviul CEM de la Limoges din 1987 [1].

Precizăm că interesul nostru se îndreaptă doar asupra cîmpului magnetic de frecvenţă foarte joasă (frecvenţă industrială şi armonici), produs de sistemele de transport şi distribuţie a energiei electrice.

Înainte, însă, de a aborda diversele ipoteze de interacţiune cu organismele vii, vom aminti de formularea analitică a cîmpului magnetic în cazul liniilor electrice aeriene şi al cablurilor şi vom da cîteva valori ale cîmpului magnetic calculat sau măsurat în apropierea instalaţiilor electrice. Vom da, totodată, unele informaţii privind cîmpul în domeniul casnic, deoarece se pare că şi acesta este în atenţia biologilor şi epidemiologilor.

2. Cîmpul magnetic produs de liniile electrice aeriene

2.1. Formularea generală

Datorită naturii cvasistatice a cîmpului electromagnetic la frecvenţe industriale, cîmpul magnetic al unei linii este produs doar de curenţii care circulă prin aceasta. Se poate deci utiliza legea lui Ampère, într-o expresie foarte generală :

$$\Phi Bdl = \mu I.$$

În măsura în care conductoarele liniilor pot fi asimilate cu nişte conductoare rectilinii, legea lui Ampère duce direct la :

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r},$$

unde B, cîmpul de inducţie magnetică, este reprezentat de un vector dus de tangentă la cercul de rază r centrat pe axul conductorului. Pe de altă parte, mediul înconjurător al liniilor fiind practic amagnetic, avem $\mu = \mu_0\ 4\pi \cdot 10^{-7}$, permeabilitatea la vid.

În prezenţa mai multor conductoare, cum este cazul liniilor trifazate sau polifazate, cîmpul total se obţine, evident, prin suprapunerea cîmpurilor parţiale, ţinînd cont de fazele lor respective.

Calculul riguros al cîmpului unei linii deasupra unui sol plan trebuie să ţină seama de imaginile conductoarelor în sol. Teoria cla-

champ magnétique et organismes vivants, vue par l'électricien. Cette nécessité apparaît, ne serait-ce que pour fournir au biologiste des indications sur la nature et les ordres de grandeur des phénomènes électriques qui s'y développent, et de ce fait lui apporter une aide indispensable dans l'interprétation des effets éventuellement observés.

La présente note se propose d'apporter des informations en ce qui concerne les champs magnétiques, et constitue ainsi le complément symétrique à l'article sur les effets biologiques des champs électriques présenté au colloque CEM de Limoges en 1987 [1].

Nous précisons que nous ne nous intéressons qu'aux champs magnétiques à très basse fréquence (fréquence industrielle et harmoniques), engendrés par les systèmes de transport et de distribution d'électricité.

Mais avant d'aborder les diverses hypothèses d'interaction avec les organismes vivants, nous rappellerons la formulation analytique du champ magnétique dans le cas des lignes aériennes et des câbles, et nous donnerons quelques valeurs de champs magnétiques calculés ou mesurés au voisinage d'ouvrages électriques. Nous donnerons aussi quelques informations sur les champs régnant en milieu domestique, puisqu'il semble que ceux-ci sont également mis en cause par certains biologistes et épidémiologistes.

2. Les champs magnétiques engendrés par les lignes aériennes

2.1. Formulation générale

En raison de la nature quasi-statique des champs électromagnétiques aux fréquences industrielles, le champ magnétique d'une ligne est engendré uniquement par les courants qui y circulent. On peut donc utiliser, de la façon la plus générale, la loi d'Ampère :

$$\Phi Bdl = \mu I.$$

Dans la mesure où les conducteurs des lignes peuvent être assimilés à des conducteurs rectilignes, la loi d'Ampère donne directement :

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r}.$$

où B, champ d'induction magnétique, est représenté par un vecteur porté par la tangente au cercle de rayon r centré sur l'axe du conducteur. Comme d'autre part les milieux environnant les lignes sont pratiquement amagnétiques, on pose $\mu = \mu_0\ 4\pi\ 10^{-7}$, perméabilité du vide.

En présence de plusieurs conducteurs, comme c'est le cas des lignes triphasées ou poly-

sică ţine cont de acesta utilizînd seriile $P + jQ$ ale lui Carson şi Pollaczek, dar aşa cum am arătat în [2] rezultatele sînt cam aceleaşi, dacă se înlocuieşte suprafaţa solului cu un plan fictiv situat în adîncimea de pătrundere şi dacă se iau în considerare imaginile în raport cu acest plan.

La frecvenţe foarte joase şi pentru conductivităţi obişnuite ale solului, adîncimea de penetraţie p, al cărui modul este dat de :

$$p = 1/\sqrt{\mu\sigma\omega}$$

este de mai multe sute de metri ; de exemplu, 360 metri pentru $\omega = 100\pi$ şi $\sigma = 0{,}02$ s.

În aceste condiţii, este normal să neglijăm cîmpul datorat curenţilor-imagini, cu excepţia calculului cîmpurilor îndepărtate, adică situate la distanţă de peste 100 m de linie.

Cele două componente, orizontală şi verticală, ale cîmpului magnetic datorat unei linii polifazate cu n conductoare se scriu astfel (fig. 1) :

$$B_x = -\frac{\mu_0}{2\pi}\sum_i^n I_i \frac{y - h_i}{(y - h_i)^2 + (x - d_i)^2}$$

$$B_y = -\frac{\mu_0}{2\pi}\sum_i^n I_i \frac{x - d_i}{(y - h_i)^2 + (x - d_i)^2}.$$

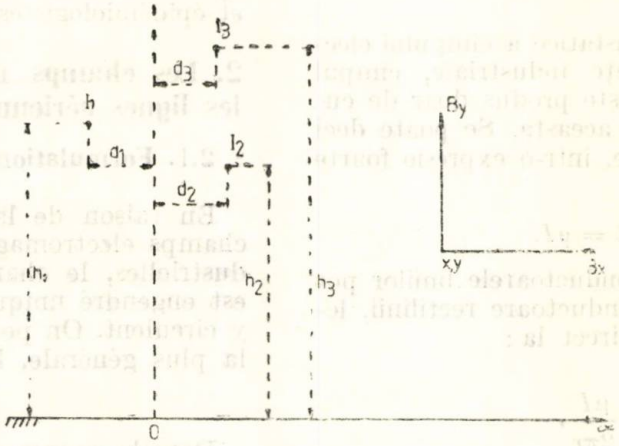


Fig. 1.

Pentru un sistem trifazat echilibrat avem :

$$I_1 = I$$

$$I_2 = I\left[-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right]$$

$$I_3 = I\left[-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right].$$

În ceea ce priveşte cîmpul homopolar, acesta se obţine considerînd $I_1 = I_2 = I_3 = I_0$, curentul homopolar al liniei.

phasées, le champ total s'obtient évidemment par superposition des champs partiels, en tenant compte de leurs phases respectives.

Le calcul rigoureux des champs d'une ligne au-dessus d'un sol plan doit faire intervenir les images des conducteurs dans le sol. La théorie clasique en tient compte en utilisant les séries $P + jQ$ de Carson et Pollaczek, mais nous avons montré [2] que les résultats étaient les mêmes si on remplaçait la surface du sol par un plan fictif situé à la profondeur de pénétration et si on considérait les images par rapport à ce plan.

Aux très basses fréquences, et pour les conductivités usuelles des sols, la profondeur de pénétration p, dont le module est donné par :

$$p = 1/\sqrt{\mu\sigma\omega}$$

est de plusieurs centaines de mètres ; par exemple de 360 mètres pour $\omega = 100\pi$ et $\sigma = 0{,}02$S.

Dans ces conditions, il est légitime de négliger le champ dû aux conducteurs-images, sauf lors du calcul de champs lointains, c'est-à-dire à plus de 100 mètres d'une ligne.

Les deux composantes, horizontale et verticale, du champ magnétique dû à une ligne polyphasée à n conducteurs s'écrivent alors (voir figure 1) :

$$B_x = -\frac{\mu_0}{2\pi}\sum_i^n I_i \frac{y - h_i}{(y - h_i)^2 + (x - d_i)^2}$$

$$B_y = -\frac{\mu_0}{2\pi}\sum_i^n I_i \frac{x - d_i}{(y - h_i)^2 + (x - d_i)^2}.$$

Pour un système triphasé équilibré, on pose :

$$I_1 = I$$

$$I_2 = I\left[-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right]$$

$$I_3 = I\left[-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right].$$

OBSERVAŢIA 1

Cîmpul generat de un sistem trifazat este în general un cîmp eliptic. Amplitudinile axei mari şi axei mici ale elipsei se apropie una de alta, cîmpul devenind circular, cu cît punctul din spaţiul considerat se apropie de centrul de gravitate al conductoarelor. Invers, cu cît ne depărtăm de planul conductoarelor, cîmpul tinde spre un cîmp cu polarizare fixă.

În anexa 1 se indică o formulare completă pentru calculul cîmpului magnetic al liniilor.

OBSERVAŢIA 2

Electricité de France dispune de un cod de calcul, programul „Analig", care permite, printre altele *, calculul cîmpurilor electrice şi magnetice ale liniilor. Programul este foarte general şi ţine seama de imaginile conductoarelor prin metoda planului fictiv. El furnizează componenta orizontală B_x şi cea verticală B_y, ale cîmpului în orice punct x, y din spaţiu, precum şi amplitudinile axei mari şi axei mici ale elipsei descrise de vectorul cîmp.

2.2. Cîteva valori ale cîmpului magnetic în apropierea liniilor de foarte înaltă tensiune

În tabelul 1 sînt date cîteva valori ale cîmpului magnetic generat de liniile în plan orizontal cu un singur circuit.

Quant au champ homopolaire, il s'obient en posant $I_1 = I_2 = I_3 = I_0$, courant homopolaire de la ligne.

REMARQUE 1

Le champ engendré par un système triphasé est généralement un champ elliptique. Les amplitudes respectives du grand axe et du petit axe de l'ellipse se rapprochent d'autant plus l'une de l'autre, le champ devenant alors circulaire, que le point de l'espace considéré se rapproche du centre de gravité des conducteurs, le champ tend vers un champ à polarisation fixe.

En annexe 1, on trouvera la formulation complète nécessaire au calcul des champs magnétiques des lignes.

REMARQUE 2

Electricité de France dispose d'un code de calcul, le programme „Analig" qui permet entre autres* de calculer les champs électriques et magnétiques des lignes. Le programme est très général, et tient compte des images des conducteurs par la méthode du plan fictif. Il fournit les composantes horizontales B_x, verticale B_y, du champ en tout point x, y de l'espace, ainsi que les amplitudes du grand axe et du petit axe de l'ellipse décrite par le vecteur champ.

Table 1

Tension	Distances entre phases	Hauteur des conducteurs	Courants	Champ magnétique au niveau du sol en μT		
[kV]	[mètres]	[mètres]	[kA]	sous l'axe	maximal	à 30 m de l'axe
225	6	11	0,4	2,0	4,3	0,65
400	10	13	1,0	6,6	12,0	4,0
750	15	15	1,5	12,0	15,0	10,0

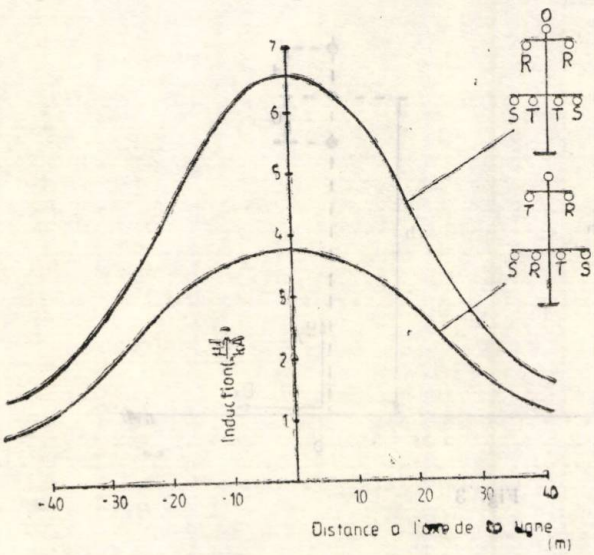


Fig. 2. Influenţa indicatorului orar al fazelor asupra densităţii de flux magnetic al liniilor de transport.

Influence de l'indice horaire des phases sur la densité de flux magnétique des lignes de transport.

Figura 2 prezintă profilul transversal al cîmpului sub o linie cu două circuite trifazate. Se poate observa că intensitatea cîmpului sub linie depinde, în acest caz, şi de configuraţia respectivă a indicatorilor de fază R.S.T.

* Analig calculează, de asemenea, cîmpul perturbator la înaltă frecvenţă datorat efectului corona, pierderile corona şi zgomotul acustic al liniilor.

2.2. Quelques valeurs du champ magnétique au voisinage de ligne à très haute tension

Dans le tableau 1 nous donnons quelques valeurs du champ magnétique engendré par des lignes en nappe horizontale à 1 terne.

* Analig calcule également les champs perturbateurs à haute fréquence dûs à l'effet couronne, les pertes couronnes et le bruit acoustique des lignes.

2.3. Cîmpul magnetic al liniilor de înaltă, medie şi joasă tensiune

Sînt indicate mai jos rezultatele calculului Analig pentru o linie de 90 kV în triunghi, precum şi pentru o linie de 20 kV în coronament deformabil, în ceea ce priveşte intensităţile de cîmpuri mai caracteristice, la nivelul solului. Cîmpurile se exprimă în μT şi sînt raportate la un curent trifazat de 100 A.

	sub axă	maxim	la 20 m de axă	
Linia de 90 kV	1	1,2	0,16	μT pentru 100 A
Linia de 20 kV	1	1	0,1	

Datorită geometriei liniilor de înaltă şi medie tensiune, unde distanţa între faze este mică în raport cu înălţimea lor faţă de sol, şi datorită defazajului între curenţi, analiza compoziţiei cîmpurilor este destul de complexă. Din punctul de vedere al distanţei dintre conductoare, domină uneori componenta orizontală B_x, alteori componenta verticală B_y. Astfel, pentru linia de 90 kV, B_x predomină între 0 şi 5 de axă, apoi B_y de la 5 m la 20m, şi iarăşi B_x pentru distanţe mai mari. Pentru linia de 20 kV, unde distanţa dintre conductoare este şi mai redusă, cîmpul este preponderent vertical (B_y) sub axa liniei, tinde spre un cîmp orizontal (B_x) între 5 şi 15 m, devenind apoi din nou vertical (B_y) peste această distanţă. Nu se remarcă deci o regulă foarte clară, iar atunci cînd sînt necesare calcule precise acestea trebuie făcute pentru fiecare caz în parte.

Să luăm, de exemplu, cazul unei linii de joasă tensiune a cărei configuraţie poate fi în plan orizontal (caz imaginat pentru necesităţile calculului), fie în plan vertical, conform figurilor 3*a* şi 3*b*.

La figure 2 donne le profil transversal du champ sous une ligne à deux circuits triphasés. On peut voir que l'intensité du champ sous une ligne dépend aussi, dans ce cas, de la disposition relative des indices de phase R.S.T.

2.3. Champ magnétique des lignes HT, MT et BT

On donne ci-dessous les résultats du calcul Analig pour une ligne à 90 kV en triangle, ainsi que pour une ligne à 20 kV en nappe-voûte en ce qui concerne les intensités de champs des plus caractéristiques, au niveau du sol. Les champs sont exprimés en μT, et sont rapportés à un courant triphasé de 100 Ampères.

	Sous l'axe	Maximum	à 20 m de l'axe	
Ligne 90 kV	1	1,2	0,16	μT pour 100 A
Ligne 20 kV	1	1	0,1	

Du fait de la géométrie des lignes HT et MT, où la distance entre phases est petite par rapport à leur hauteur au-dessus du sol, et du fait du déphasage entre les courants, la composition des champs est assez complexe à analyser. Selon la distance aux conducteurs, c'est tantôt la composante horizontale B_x qui domine, tantôt la composante verticale B_y. Ainsi, pour la ligne à 90 kV, B_x est prédominant de 0 à 5 m de l'axe, puis B_y de 5 m à 20 m, et à nouveau B_x aux distances supérieures. Pour la ligne à 20 kV, où l'espacement entre conducteurs est encore plus faible, le champ est essentiellement vertical (B_y) sous l'axe de la ligne, tend vers un champ horizontal (B_x) entre 5 et 15 m, pour redevenir vertical (B_y) au-delà. On ne voit donc pas de règle bien claire se dessiner, et si des calculs précis sont nécessaires, ils doivent être faits au cas par cas.

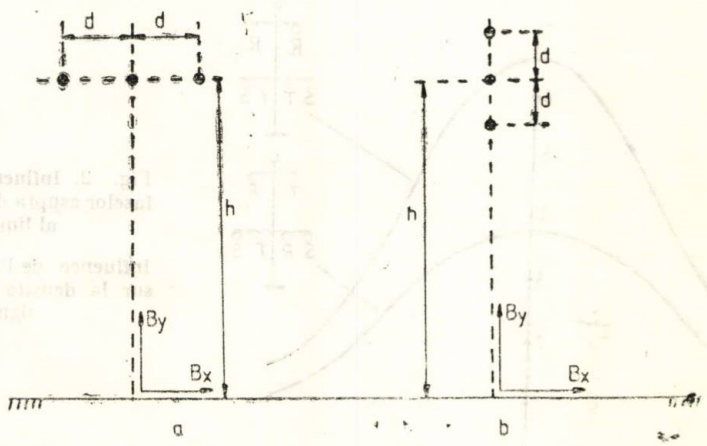


Fig. 3

Pentru aceste configurații simple este ușor de calculat cîmpul la sol și sub conductoare. Vom afla următoarele expresii :

	Cazul 3*a*	Cazul 3*b*
Componenta orizontală B_x	$\frac{\mu_{0i}}{2}\frac{d^2}{h^3}$	$\frac{\mu_{0i}}{2}\frac{\sqrt{3}\,d}{h^2}$
Componenta verticală B_y	$\frac{\mu_{0i}}{2}\frac{\sqrt{3}\,d}{h^2}$	0

În cazul 3*a*, deși ne așteptăm la o componentă orizontală B_x dominantă, în mod paradoxal mai importantă va fi componenta B_y. Intensitatea ei este egală cu cea a componentei B_x în cazul 3*b*.

În cazul unei aplicații numerice cîmpul sub o linie de joasă tensiune de tipul 3*a* sau 3*b*, pentru $d = 0{,}7$ m și $h = 7$ m, este de 5 T (0,05 G)/kA.

Cîmpul homopolar : În unele țări, întoarcerea curenților homopolari se face prin pămînt. De asemenea, cînd neutrul este legat la pămînt în mai multe puncte, o fracțiune a curentului homopolar se poate scurge prin sol. Evident că acești curenți generează un cîmp pe care îl putem evalua la 0,3 T (3 mG) pe amper sub linie, și la 0,15 T (1,5 mG) pe amper la o distanță de 10 m de linie.

Astfel, un curent homopolar de 50 A poate genera într-o locuință aflată în apropierea unei linii de joasă tensiune un cîmp de ordinul a 10 T (0,1 G).

2.4. Cîmpul magnetic în domeniul casnic

Cîmpul magnetic produs de instalațiile electrocasnice este cuprins într-o gamă de mărimi foarte largă. El depinde de tipul de conductor (monofilar pentru un tur și retur, bifilar sau trifazat pentru o alimentare normală), de puterea aparatelor alimentate. În plus, unele aparate electrocasnice creează un cîmp relativ intens în imediata lor apropiere, în special cînd acestea posedă un miez magnetic (transformator, motor etc.)

În locuințele situate departe de liniile de transport sau de distribuție, gama cîmpurilor învecinate se întinde, conform măsurătorilor făcute în alte țări, de la 10^{-9} T (10^{-5} G) la 0,4 μT (4 m*G*), cu o medie de 0,15 mG. Aceste intensități variază, în principal, în funcție de echipament și de ora din zi, depinzînd și de activitatea locatarilor.

Se dau mai jos cîteva exemple de cîmpuri magnetice măsurate la o distanță de 30 cm de aparate electrocasnice a căror radiație este mai intensă [3] :

cuptor cu microunde	40 la 90 mG
aspirator	20 la 200 mG
uscător de păr	1 la 100 mG
fierăstrău	10 la 300 mG
încălzire prin pardoseală	10 la 50 mG

Prenons pour exemple le cas d'une ligne BT, dont la configuration serait soit en nappe horizontale (cas imaginé pour les besoins du calcul), soit en nappe verticale, selon les figures 3*a* et 3*b*.

Pour ces configurations, simples, il est facile de calculer le champ au sol sous les conducteurs. On trouve les expressions suivantes :

	Cas 3*a*	Cas 3*b*
Composante horizontale B_x	$\frac{\mu_{0i}}{2\pi}\frac{d^2}{h^3}$	$\frac{\mu_{0i}}{2}\frac{\sqrt{3}\,d}{h^2}$
Composante verticale B_y	$\frac{\mu_{0i}}{2\pi}\frac{\sqrt{3}\,d}{h^2}$	0

Dans le cas 3*a*, alors que l'on s'attend à une composante horizontale B_x dominante, c'est paradoxalement la composante B_y qui est la plus importante. Son intensité est la même que celle de la composante B_x du cas 3*b*.

A titre d'application numérique, le champ sous une ligne BT du type 3*a* ou 3*b* pour $d = 0{,}7$ m et $h = 7$ m, est de 5 μT (0,05 G) par kiloampère.

Champ homopolaire : Dans certains pays, le retour des courants homopolaires se fait par la terre. De même, lorsque le neutre est mis à la terre en plusieurs points, une fraction du courant homopolaire peut s'écrouler par le sol. Ces courants engendrent évidemment un champ, que l'on peut évaleur à 0,3 μT (3mG) par ampère sous la ligne, et à 0,15 μT (1,5 mG) par ampère à 10 mètres de la ligne.

Aussi, un courant homopolaire de 50 A peut engendrer dans une habitation bordée par une ligne BT un champ de l'ordre de 10 μT (0,1 G).

2.4. Champ magnétique en milieu domestique

Les champs magnétiques engendrés par les installations domestiques s'étendent dans une très large gamme de valeurs. Ils dépendent du type de câblage (monofilaire pour un va-et-vient, bifilaire ou triphasé pour une alimentation normale), de la puissance des appareils alimentés. De plus, certains appareils électroménagers créent un champ relativement intense à leur voisinage immédiat, notamment lorsqu'ils possèdent un noyau magnétique (transformateur, moteur).

Dans des logements éloignés des lignes de transport ou de distribution, la gamme des champs ambiants s'étend, selon des mesures faites à l'étranger, de 10^{-9} T ou 10^{-5} G à 0,4 μT (4 mG), avec une moyenne de 0,15 mG. Ces intensités sont essentiellement variables en fonction de l'équipement et de l'heure dans la journée, dépendant de l'activité des occupants du logement.

On donne ci-dessous quelques exemples de champs magnétiques, mesurés à une distance de

3. Interacţiunile cu organismele vii

Fără a avea idei preconcepute asupra plauzibilităţii unor efecte biologice ale cîmpului magnetic, specialistul electrician poate examina procesele fizice care ar putea fi eventual puse în cauză. Rezultă în principal trei asemenea procese :

— inducţia de curenţi în masa unui corp viu ;

— acţiunea directă a unui cîmp magnetic asupra unor substanţe feromagnetice conţinute în anumite ţesuturi ;

— forţele Laplace aplicate unor ioni în deplasare.

OBSERVAŢIE

O serie de lucrări privind celulele arată că unele cîmpuri magnetice la frecvenţă foarte joasă, chiar la intensităţi foarte mici, ar putea afecta anumite procese la nivel celular. S-a semnalat modificarea producerii de calciu, accelerarea secreţiei unei anumite enzime, ornitina decarboxidază, însă este vorba de cercetări efectuate pe ţesuturi „în vitro" pe care nu e cazul să le interpretăm acum în termeni de fiziopatologie.

3.1. Inducţia de curenţi în masa unui corp viu

Este vorba de adevăraţi „curenţi Foucault" generaţi de un cîmp variabil în masa unui corp viu ; după cunoştinţa noastră nu s-a stabilit pînă în prezent nici o hartă a densităţilor curentului nici pentru om şi nici pentru animalele de laborator.

Pentru a fi exact, calculul trebuie să plece de la ecuaţia lui Maxwell :

$$\text{rot}\ \vec{E} = -\mu \frac{\mathrm{d}\vec{H}}{\mathrm{d}t},$$

care dă relaţia locală între cîmpul magnetic şi cîmpul electric indus. Această ecuaţie trebuie integrată în întregul volum al organismului viu luat în consideraţie.

Prin aplicarea teoremei lui Stokes, care se scrie :

$$\oint_S \text{rot}\,\vec{E}\,\mathrm{d}s = \oint_C \vec{E}\cdot\mathrm{d}l$$

se obţine ecuaţia integrală :

$$\oint_C Edl = -\oint_S \mu \frac{\mathrm{d}H}{\mathrm{d}t}\cdot \mathrm{d}s.$$

Ne putem face astfel o idee simplă asupra densităţilor de curenţi induşi reprezentîndu-ne un contur, luat din masa ţesuturilor, şi calculînd cîmpul electric de-a lungul acestui contur ; admiţînd că acest contur fictiv este circular, cu rază r, scufundat într-un mediu infinit izotrop, ecuaţia integrală de mai sus se scrie :

$$2\pi rE = \pi r^2 \frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t},$$

30 cm d'appareils électroménagers dont le rayonnement est le plus intense [3] :

Four à microondes	40 à 90 mG
Aspirateur	20 à 200 mG
Sèche-cheveux	1 à 100 mG
Scie	10 à 300 mG
Chauffage par le sol	10 a 50 mG

3. Les intéractions avec les organismes vivants

Sans préjuger en aucune facon de la plausabilité d'effets biologiques des champs magnétiques, l'électricien peut examiner les processus physiques pouvant éventuellement être mis en cause. Il en récense essentiellement trois :

— l'induction de courants dans la masse d'un corps vivant,

— l'action directe d'un champ magnétique sur des substances ferromagnétiques contenues dans certains tissus.

— les forces de Laplace appliquées à des ions en mouvement.

REMARQUE :

Certains travaux sur des cellules suggèrent que des champs magnétiques à très basse fréquence, même à de très faibles intensités, pourraient affecter certains processus au niveau cellulaire. On a cité la modification de la production de calcium, l'accélération de la sécrétion d'une enzyme particulière, l'ornithine décarboxydase, mais il s'agit là de recherches sur des tissus „in vitro", qu'il n'est actuellement pas question d'interpréter en termes de physio-pathologie.

3.1. Induction de courants dans la masse d'un corps vivant

Il s'agit de véritables „courants de Foucault" développés par un champ variable dans la masse d'un corps vivant ; à notre connaissance, aucune carte des densités de courant n'a encore été établie, ni pour l'homme, ni pour les animaux de laboratoire.

En toute rigueur, le calcul doit partir de l'équation de Maxwell :

$$\text{rot}\ \vec{E} = -\mu \frac{\mathrm{d}\vec{H}}{\mathrm{d}t}$$

qui donne la relation locale entre champ magnétique et champ électrique induit. Cette évaluation doit être intégrée à tout le volume de l'organisme vivant considéré.

Par application du théorème de Stokes, qui s'écrit :

$$\oint_S \text{rot}\ \vec{E}\,\mathrm{d}s = \oint_S \vec{E}\cdot\mathrm{d}l.$$

on obtient l'équation intégrale :

$$\oint_C Edl = -\oint_S \mu \frac{\mathrm{d}H}{\mathrm{d}t}\,\mathrm{d}s.$$

de unde :

$$E = \frac{r}{2}\frac{dB}{dt},$$

Densitatea de curent indusă într-un mediu de conductivitate va fi dată de :

$$J = \frac{\sigma r}{2}\frac{dB}{dt}.$$

Această simplă evaluare presupune un cîmp magnetic datorat curenților induși neglijabil față de cîmpul aplicat din exterior, ipoteză perfect justificată pentru conductivitățile normale ale țesuturilor vii.

Atunci cînd cîmpul aplicat este sinusoidal, expresia de mai sus capătă forma :

$$J = \frac{\sigma r}{2} \cdot \omega B.$$

3.1.2. Aplicație numerică în cazul cîmpurilor sinusoidale

Să presupunem că un om stă în picioare într-un cîmp magnetic orientat orizontal și să ne închipuim două contururi fictive circulare, așezate vertical, unul în cap, avînd raza $r_1 = 0{,}1$ m, iar celălalt în torace, avînd raza $r_2 = 0{,}25$ m. Să mai presupunem că acest cîmp se datorează unei linii de 400 kV, deci este sinusoidal, și de intensitate $B = 10$ μT, corespunzînd sensibil cîmpului maxim care sub liniile de 400 kV, la nivelul solului.

Vom găsi :

E_1 (nivelul capului) = 0,16 mV/m

E_2(nivelul toracelui) = 0,4 mV/m

În ceea ce privește densitatea de curent care rezultă de aici, ea va depinde de conductivitatea σ cu care vom caracteriza țesuturile vii. Dacă asimilăm un corp viu la un simplu rezervor de ser fizilogic, vom estima $\sigma = 1$ S/m.

Totuși, unii autori care iau în considerație conținutul de grăsimi și alte substanțe din țesuturi consideră $\sigma = 0{,}1$ S/m. De aici vor rezulta următoarele densități de curent :

	$\sigma = 1$ S/m	$\sigma = 0{,}1$ S/m
J_1(cap)	160 μA/m²	16 μA/m²
J_2(torace)	400 μA/m²	40 μA/m²

3.1.3. Comparația cu curenții induși de cîmpul electric

Să revenim la cazul omului care stă în picioare sub o linie de 400 kV ; acolo unde cîmpul magnetic este de ordinul a 10 μT, cîmpul electric este de ordinul a 5 kV/m. În aceste condiții, curenții induși de cîmpul electric sînt orientați

On peut alors se faire une idée simplifiée des densités de courants induits en se représentant un contour, pris dans la masse des tissus, et en calculant le champ électrique le long de ce contour ; en admettant que ce contour fictif soit circulaire, de rayon r, plongé dans un milieu infini isotrope, l'équation intégrale ci-dessus s'écrit :

$$2\pi r E = \pi r^2 \frac{dB}{dt},$$

d'où :

$$E = \frac{r}{2}\frac{dB}{dt}.$$

Enfin , la densité de courant induite dans un milieu de conductivité sera donnée par :

$$J = \frac{\sigma r}{2}\frac{dB}{dt},$$

Cette évaluation simple suppose que le champ magnétique dû aux courants induits est négligeable devant le champ appliqué de l'extérieur, hypothèse tout à fait justifiée pour les conductivités usuelles des tissus vivants.

Lorsque le champ appliqué est sinusoïdal l'expression ci-dessus prend la forme :

$$J = \frac{\sigma r}{2} \cdot \omega B.$$

3.1.2. Application numérique dans le cas de champs sinusoïdaux

Supposons un homme debout, plongé dans un champ magnétique orienté horizontalement, et imaginons deux contours fictifs circulaires, placés verticalement, l'un dans la tête, de rayon $r_1 = 0{,}1$ m, et l'autre dans le thorax, de rayon $r_2 = 0{,}25$ m. Supposons de plus que le champ soit dû à une ligne à 400 kV, donc sinusoïdal, et d'intensité $B = 10$ μT, correspondant sensiblement au champ maximal que l'on relève sous les lignes à 400 kV, au niveau du sol.

Nous trouvons :

E_1 (niveau de la tête) = 0,16 mV/m

E_2 (niveau du thorax) = 0,4 mV/m

Quant à la densité de courant qui en résulte, elle va dépendre de la conductivité σ que l'on se donnera pour caractériser les tissus vivants. Si l'on assimile un corps vivant à un simple réservoir de sérum physiologique, on retiendra $\sigma = 1$ S/m.

Mais certains auteurs prenant en compte la teneur des tissus en graisses et autres substances, retiennent $\sigma = 0{,}1$ S/m. Il en résultera les densités de courant :

	$\sigma = 1$ S/m	$\sigma = 0{,}1$ S/m
J_1 (tête)	160 μA/m²	16 μ A/m²
J_2 (thorax)	400 μA/m²	40 μA/m²

global în sens vertical. Fără a relua calculele prezentate în alte publicaţii, vom arăta că densitatea lor este de circa 600 $\mu A/m^2$ la nivelul capului şi de circa 300 $\mu A/m^2$ la nivelul toracelui.

Astfel, în cazul particular analizat aici, se constată că dacă de reţine o conductivitate a ţesuturilor de 1 S/m cîmpul electric şi cîmpul magnetic induc curenţi care sînt aproape de acelaşi ordin. Mai mult, se arată că ele sînt în fază (deoarece sînt proporţionale cu $j\omega E$ şi respectiv cu $j\omega B$), astfel că atunci cînd expunerea la cîmpuri cu dublă natură este simultană structura densităţilor de curent locale rezultă pur şi simplu din compunerea vectorilor spaţiali ai acestora.

Cu toate acestea, există două diferenţe foarte importante între curenţii induşi de cîmpul electric şi cei induşi de cîmpul magnetic.

În cazul cîmpului electric, densităţile locale de curent nu depind nici de conductivitatea ţesuturilor şi nici de mărimea corpurilor luate în consideraţie, în măsura în care două corpuri se deduc unul din celălalt prin omotetie (de exemplu, adult şi copil, iepure şi şoarece).

În schimb, în cazul cîmpului magnetic, densităţile de curent locale depind atît de conductivitate, cît şi de mărime, aşa cum arată clar expresia $J = \frac{\sigma r}{2}\frac{dB}{dt}$ stabilită anterior. Această proprietate trebuie luată în consideraţie atunci cînd se experimentează efectele cîmpului magnetic pe animalele de laborator, care au o dimensiune mică în raport cu omul.

3.1.4. Expunerea la cîmpul magnetic pulsator

O serie de experimentări efectuate în alte ţări, prin care nişte ouă de găină aflate în incubaţie au fost supuse unor cîmpuri magnetice pulsatorii, au ajuns la concluzia că există un coeficient anormal de teratogeneză în embrion. Cîmpurile utilizate aveau amplitudini de 1 μT, cu pantă de 1 pînă la 2 μs. Însă experimentările efectuate la solicitarea EdF în laboratorul de biologie animală de la Clermond-Ferrand, tot pe ouă în incubaţie (de găină şi de prepeliţă), expuse însă la cîmpuri sinusoidale, nu au scos în evidenţă nici un fel de efect; intensitatea cîmpului este în acest caz de 3 pînă la 5 gauss (300 — 500 μT).

Să comparăm însă vitezele de variaţie $\frac{dB}{dt}$ în cele două cazuri:

Cîmp pulsator: $\frac{dB}{dt} = \frac{1\ \mu T}{1\ \mu s} = 1 T/s$

Cîmp alternativ: $\frac{dB}{dt} = \omega\sqrt{2}B = 0{,}2 T/s$

În consecinţă, cîmpurile pulsatorii produc curenţi care, deşi de foarte scurtă durată, au

3.1.3. Comparaison avec les courants induits par le champ électrique

Reprenons le cas d'un homme debout sous un ligne à 400 kV; là où le champ magnétique est de l'ordre de 10 μT, le champ électrique est de l'ordre de 5 kV/m. Dans ces conditions, les courants induits par le champ électrique sont globalement orientés dans le sens vertical; sans reprendre les calculs publiés ailleurs, indiquons que leur densité est de quelque 600 $\mu A/m^2$ au niveau de la tête et de quelque 300 $\mu A/m^2$ au niveau du thorax.

Ainsi, dans le cas particulier traité ici on constate que, si on retient une conductivité des tissus de 1 S/m, champ électrique et champ magnétique induisent des courants qui sont sensiblement du même ordre. De plus, on montre qu'ils sont en phase (puisque respectivement proportionnels à $j\omega E$ et à $j\omega B$), de sorte que lorsque l'exposition aux champs des deux natures est simultanée, la composition des densités de courants locales est simplement la composition de leurs vecteurs spatiaux.

Cependant, il existe deux différences très importantes entre les courants induits par les champs électriques et les courants induits par les champs magnétiques.

Dans le cas du champ électrique, les densités locales de courant ne dépendent ni de la conductivité des tissus, ni de la taille des corps considérés, dans la mesure où deux corps se déduisent l'un de l'autre par homothétie (exemples : adultes et enfant, ou approximativement lapin et souris ...).

En revanche, dans le cas du champ magnétique, les densités de courant locales dépendent à la fois de la conductivité et de la taille, comme le montre clairement l'expression $J = \frac{\sigma r}{2}\frac{dB}{dt}$ établie précédemment. Cette propriété doit être prise en compte lorsque l'on expérimente les effets du champ magnétique sur des animaux de laboratoire, de petite taille par rapport à l'homme.

3.1.4. Exposition à des champs magnétiques pulsés

Certaines expérimentations menées à l'étranger, qui exposaient des oeufs de poules en incubation à des champs magnétiques pulsés, auraient mis en évidence un taux anormal de tératogénèse chez les embryons. Les champs utilisés avaient des amplitudes de l'ordre du μT, avec des fronts de montée de 1 à 2 μs. Par contre, les expérimentations menées à la demande d'EDF au laboratoire de biologie animale de Clermont-Ferrand, également sur des oeufs en incubation de poules (et de cailles) mais exposés à des champs sinusoïdaux, n'ont mis

amplitudini de cinci ori mai mari față de cele ale cîmpurilor sinusoidale din experiența EdF. Această diferență apare ca un parametru important de comparație între cele două experimentări , care se referă amîndouă la aceeași specie de organism viu.

3.2. Acțiunea directă a unui cîmp magnetic asupra substanțelor feromagnetice

În materia vie, toate moleculele organice sînt diamagnetice, unele molecule (O_2) sînt paramagnetice, iar anumite microstructuri pot fi feromagnetice (în special, nucleul hemoglobinei). Așezate într-un cîmp magnetic, aceste molecule vor fi deci supuse unor forțe, iar energia lor se va modifica.

Să luăm exemplul unei structuri feromagnetice care capătă un moment $\vec{m}$ cînd este introdusă într-un cîmp B. Cuplul care se exercită asupra acestei structuri va fi dat de :

$$\vec{\Gamma} = \vec{m} \wedge \vec{B}.$$

Forțele care corespund acestui cuplu se vor aplica țesuturilor din mediul înconjurător din imediata apropiere a structurii și nu este exclus ca aceste presiuni mecanice, mai ales dacă sînt alternate, să genereze unele efecte biologice. Vom aminti trei exemple în care forțele magnetice par să fie implicate în mediile vii.

a) Animalele — simțul de orientare

Simțul de orientare al păsărilor migratoare a rămas multă vreme o enigmă. Pentru a explica au fost menționate ghidarea după poziția soarelui și influența cîmpului magnetic terestru. Cercetările mai recente au pus însă în evidență existența unor cristale de magnetită în capul porumbeilor călători, descoperire care ne face să credem că un rol important în sistemul de navigație al acestor păsări îl are cîmpul magnetic terestru. O serie de experiențe realizate cu meticulozitate a permis confirmarea parțială a acestor puncte de vedere, deși pentru moment mecanismul de percepție a variațiilor de magnetizare a cristalelor de magnetită de către animal rămîne complet necunoscut.

Aceste cristale s-au găsit și în abdomenul albinelor ; deci, s-ar putea ca și acestea să-și găsească drumul spre stup prin intermediul cîmpului magnetic terestru.

Ne putem atunci imagina că în imediata apropiere a liniilor electrice simțul de orientare al acestor animale ar putea fi perturbat, deși această perturbație nu a fost demonstrată pînă în prezent.

aucune sorte d'effet en évidence ; l'intensité du champ est ici de 3 à 5 gauss (300 à 500 μT).

Comparons alors les vitesses de variation dB/dt dans les deux cas :

$$\text{Champ pulsé} : \frac{dB}{dt} = \frac{1\,\mu T}{1\,\mu s} = 1\ T/s$$

$$\text{Champ alternatif} : \frac{dB}{dt} = \omega \sqrt{2}\ B + 0{,}2\ T/s$$

En conséquence, les champs pulsés produisent des courants qui, bien que très brefs, ont des amplitudes cinq fois supérieures à celles des champs sinusoïdaux de l'expérience EDF ; cet écart apparaît comme un paramètre important de comparaison entre les deux expérimentations, qui portent toutes deux sur la même espèce d'organisme vivant.

3.2. Action directe d'un champ magnétique sur des substances ferromagnétiques

Dans la matière vivante, toutes les molécules organiques sont diamagnétiques, certaines molécules (O_2) sont paramagnétiques et certaines microstructures peuvent être ferromagnétiques (noyau de l'hémoglobine notamment). Placés dans un champ magnétique, ces molécules ou des microstructures seront donc soumises à des forces et leur énergie sera modifiée.

Considérons par exemple une structure ferromagnétique, qui acquiert un moment $\vec{m}$ lorsqu'elle est plongée dans un champ B. Le couple qui s'exerce sur cette structure sera donné par :

$$\vec{\Gamma} = \vec{m} \wedge \vec{B}$$

Les forces correspondant à ce couple vont s'appliquer sur les tissus dans l'environnement immédiat de la structure, et il n'est pas inconcevable que ces pressions mécaniques, surtout si elles sont alternées, puissent entraîner des effets biologiques. Nous allons citer trois exemples où les forces magnétiques semblent être en cause dans les milieux vivants.

a) Les animaux — Le sens de l'orientation

Le sens de l'orientation des oiseaux migrateurs est resté longtemps une énigme. Pour l'expliquer, on a invoqué le guidage par la position du soleil, mais aussi l'influence du champ magnétique terrestre. Or, des recherches récentes ont mis en évidence l'existence de cristaux de magnétite dans la tête des pigeons voyageurs, découverte qui donne à penser que le champ magnétique terrestre joue un rôle important dans le système de navigation de ces oiseaux. Une série d'expériences réalisées avec beaucoup de minutie a permis de confirmer

b) Omul — nuielușa descoperitorului de izvoare

Profesorul Yves Rocard a încercat să arate în urmă cu vreo treizeci de ani, pe vremea cînd era directorul laboratorului de fizică al Școlii Normale Superioare, că nuielușa descoperitorului de izvoare în căutarea apei răspunde, de fapt, unei mișcări involuntare a mîinii. Această mișcare este consecința unui influx nervos care ar rezulta, la rîndul lui, din niște variații slabe ale cîmpului magnetic terestru. Aceste variații slabe pot fi datorate unui curent de apă „filtrantă", adică o apă care nu conține decît ioni de un semn dat, ionii de semn contrar fiind reținuți de solurile prin care trece curentul. Însă un flux de sarcini electrice creează un cîmp magnetic. Ipotezele, calculele și numeroasele experiențe efectuate de profesorul Rocard în sprijinul teoriei sale sînt consemnate în lucrarea sa *„Semnalul descoperitorului de izvoare"* (iar o apariție mai recentă este lucrarea *„Știința și descoperitorii de izvoare"* de Y. Rocard, ed. Dunod).

c) Bacteriile magnetotactile

O serie de bacterii marine, numite „magnetotactile", posedă o aliniere a cristalelor de Fe_3O_4, care le permite să-și repereze traiectoria în raport cu direcția cîmpului magnetic terestru.

Cu aceste trei exemple am vrut să arătăm că este absolut plauzibil că există un efect al cîmpului magnetic asupra organismelor vii evoluate. Dar dacă există un asemenea efect, acesta este perceput — conștient sau nu — ca o „informație" și nu poate fi considerat ca fiind de natură patologică, cel puțin pentru intensități slabe ale cîmpurilor magnetice implicate în aceste fenomene. Dimpotrivă, este posibil, deși faptul nu a fost încă dovedit, ca unele cîmpuri alternative sau pulsatorii să producă niște cupluri de rotație nedorite.

3.3. Forțele Laplace

Să amintim că o particulă încărcată q, care se deplasează cu o viteză v, așezată într-un cîmp B este supusă unei forțe F astfel încît :

$$\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

Această forță, al cărui efect este de a curba traiectoria oricărei particule încărcate în mișcare, se va putea manifesta în mediile biologice lichide, de exemplu asupra ionilor solubili care iau parte la fluxul sanguin sau la fluxul transmembranar indus la trecerea influxului nervos.

Astfel, unii autori au indicat niște modificări importante ale vitezei de conducție nervoasă, precum și unele anomalii ale electrocardiogramei. Însă aceste cercetări sînt motivate de utilizarea în medicină a unor cîmpuri foarte

partiellement ces vues, bien que pour l'instant, le mécanisme de perception des variations de magnétisation des cristaux de magnétite par l'animal reste entièrement inconnu.

Ces cristaux ont également été trouvés dans l'abdomen des abeilles qui pourraient donc elles aussi, retrouver le chemin de leurs ruches par l'intermédiaire du champ magnétique terrestre.

On peut alors imaginer qu'au voisinage immédiat des lignes électriques, le sens de l'orientation de ces animaux puisse être perturbé, encore que cette perturbation n'ait jusqu'à présent été démontrée.

b) Les êtres humains — La baguette du sourcier

Le professeur Yves Rocard a tenté de montrer, il y a une trentaine d'années, alors qu'il était Directeur du Laboratoire de Physique de l'Ecole Normale Supérieure, que la baguette du sourcier à la recherche d'eau répondait en fait à un mouvement involontaire de la main. Ce mouvement serait consécutif à un influx nerveux qui résulterait lui-même de faibles variations du champ magnétique terrestre. Ces faibles variations peuvent être dues à un courant d'eau „filtrante", c'est-à-dire une eau qui ne contient que des ions d'un signe donné, les ions de signe contraire étant retenus par les sols traversés par le courant. Or, un flux de charges électriques crée un champ magnétique. Les hypothèses, les calculs et les nombreuses expériences effectuées par le Professeur Rocard pour étayer sa théorie sont consignés dans son ouvrage *„Le signal du sourcier"*. (Nouvelle édition : *La science et les sourciers*, par Y. Rocard — édition Dunod.)

c) Les bactéries magnéto-tactiles

Certaines bactéries marines, dites „magnétotactiles", possèdent des alignements de cristaux Fe_3O_4 qui leur permettent de repérer leur trajectoire par rapport à la direction du champ magnétique terrestre.

Ce que nous avons voulu montrer par ces trois exemples est qu'il est tout à fait plausible que le champ magnétique ait un effet sur les organismes vivants élaborés. Mais si effet il y a, il est perçu, consciemment ou non, comme une „information", et en saurait être considéré comme de nature pathologique, du moins aux faibles intensités de champs magnétiques mis en jeu dans ces phénomènes.Il est par contre concevable — nous ne disons pas „prouvé" — que des champs alternatifs ou pulsés puissent produire des couples de rotation indésirables.

3.3. Les forces de Laplace

Rappelons qu'une particule chargée q, animée d'une vitesse v, placée dans un champ B, est soumise à une force F telle que :

$$\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

intense, de ordinul unui Tesla sau mai mari, utilizate în prezent în diagnoza RMN (rezonanța magnetică nucleară).

Chiar și în aceste cazuri de cîmpuri foarte puternice, efectele nu sînt neapărat patologice.

Formula lui Laplace se poate scrie :

$$\frac{\vec{F}}{q} = \vec{v} \wedge \vec{B}$$

produsul vectorial apărînd atunci ca generînd un cîmp electric $\vec{E}$.

Să analizăm exemplul fluxului sanguin în crosa aortică la ieșirea din inimă. În momentul contracției ventriculare, debitul sanguin atinge 5 l/min, ceea ce corespunde, într-un vas cu diametrul de 3 cm, unei viteze de 1 m/s.

În acest moment, cîmpul electric echivalent, pentru un organism introdus într-un cîmp magnetic de 1 T, este de 1 V/m, adică o diferență de potențial de 30 mV pe diametrul aortei. Această tensiune este arhisuficientă pentru a perturba electrocardiograma și s-a verificat că anomalia din EKG dispare imediat, odată cu încetarea expunerii la cîmpul magnetic.

Să revenim la cîmpurile sinusoidale generate de instalațiile electrice. Același exemplu cu fluxul sanguin în momentul contracției ventriculare, dar de data aceasta supus unui cîmp magnetic de 10 μT al unei linii de 400 kV, conduce la un cîmp electric echivalent de 10 μV/m, cu o diferență de potențial „la marginile" aortei de 0,3 μV.

Aceste cîmpuri și tensiuni trebuie comparate cu cîmpurile transmembranare și cu potențialele biologice naturale, care sînt de ordinul a 10^7 V/m și respectiv de 70 mV.

Este așadar dificil de imaginat că niște efecte relative atît de slabe pot avea o influență oarecare asupra biofiziologiei țesuturilor vii.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Cercetări asupra efectelor biologice ale cîmpului electric și magnetic.* În : RGE, număr special, iulie 1976 ; Colocviul CEM de la Limoges, 1987

[2] Gary, C. *O nouă metodă de calcul al inductanțelor proprii și mutuale ale liniilor față de pămînt.* Simpozionul CIGRE privind curenții de mare intensitate, Bruxelles, iunie 1985

[3] *Studii epidemiologice asupra sănătății omului în raport cu cîmpul electric și magnetic : criterii de evaluare.* În : (International Electricity Research Exchange), iunie 1988

Cette force, qui a pour effet de courber la trajectoire de toute particule chargée en mouvement, pourra se manifester dans les milieux biologiques aqueux, par exemple sur les ions solubles participant au flux sanguin ou au flux trans-membranaire induit lors du passage de l'influx nerveux.

Certains auteurs ont ainsi décrit d'importantes modifications de la vitesse de conduction nerveuse, ainsi que des anomalies de l'électrocardiogramme. Mais ces recherches sont motivées par l'emploi en médecine de champs très intenses de l'ordre du Tesla ou plus, que l'on utilise maintenant en diagnostic RMN (Résonance Magnétique Nucléaire).

Mais même dans ces cas de très forts champs, les effets ne sont pas nécessairement pathologiques.

La formule de Laplace peut s'écrire :

$$\frac{\vec{F}}{q} = \vec{v} \wedge \vec{B}$$

le produit vectoriel apparaissant alors comme créant un champ électrique $\vec{E}$.

Traitons l'exemple du flux sanguin dans la crosse aortique à la sortie du coeur. Au moment de la contraction ventriculaire, le débit sanguin atteint 5 l/min, ce qui correspond, dans un vaisseau de 3 cm de diamètre, à une vitesse de 1 m/s.

A cet instant, le champ électrique équivalent, pour un organisme plongé dans un champ magnétique de 1 T, est de 1 V/m, soit une d.d.p. de 30 mV sur le diamètre de l'aorte. Cette tension est largement suffisante pour perturber l'ECG, et il est d'ailleurs vérifié que l'anomalie de l'ECG disparaît dès la fin de l'exposition au champ magnétique.

Mais revenons aux champs sinusoïdaux engendrés par les ouvrages électriques. Le même exemple du flux sanguin au moment de la contraction ventriculaire, mais cette fois-ci soumis au champ magnétique de 10 μT d'une ligne à 400 kV, conduit à un champ électrique équivalent de 10 μV/m, avec une d.d.p. „aux bornes" de l'aorte de 0,3 μV.

Ces champs et tensions sont à comparer aux champs transmembranaires et aux potentiels biologiques naturels, qui sont respectivement de l'ordre de 10 μV/m et 70 mV.

Il est donc difficile d'imaginer que des effets relatifs aussi faibles puissent avoir une influence quelconque sur la bio-physiologie des tissus vivants.

REFERENCES

[1] *Recherches sur les effets biologiques des champs électrique et magnétique* . In : R.G.E. — Numéro Spécial — juillet 1976. Colloque CEM — Limoges 1987.

[2] GARY, C. *Nouvelle méthode de calcul des inductances propres et mutuelles des lignes en présence au sol.* CIGRE Symposium sur les courants de forte intensité. Bruxelles, juin 1985.

[3] *Epidemiological studies relating human health to electric and magnetic fields : criteria for evaluation.* In : IERE (International Electricity Research Exchange), juin 1988.

Calculul cîmpului magnetic al unei linii
Calcul du champ magnétique d'une ligne

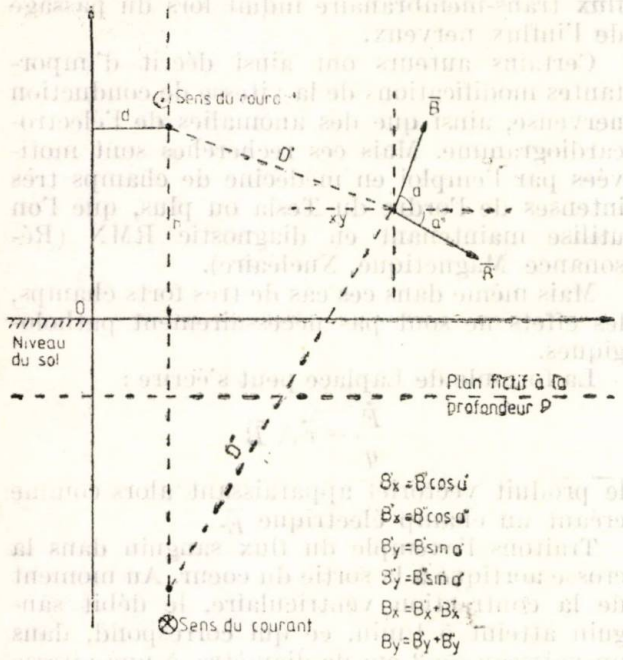


Fig. 1

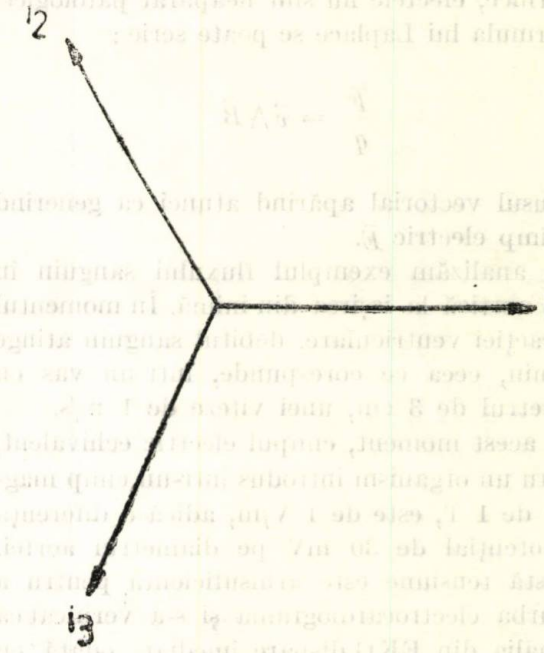


Fig. 2

Cîmpul generat de n conductoare :
Champ dû à n conducteurs :

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi}\sum_1^n I_i\left[\frac{-(y-h_i)}{(y-h_i)^2+(x-d_i)^2}+\frac{y+h_i+2p}{(y+h_i+2p)^2+(x-d_i)^2}\right]$$

$$B_y = \frac{\mu_0}{2\pi}\sum_1^n I_i\left[\frac{-(y-d_i)}{(y-h_i)^2+(x-d_i)^2}-\frac{(x-d_i)}{(y+h_i+2p)^2+(x-d_i)^2}\right]$$

Adîncimea de penetrație :
Profondeur de pénétration :

$$p = \frac{1}{\sqrt{\mu\sigma\omega}} \text{ cu } \mu = \mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7};\ p = 356\,\frac{1}{\sqrt{\sigma f}}$$

Pentru un sistem trifazat :
Pour un système triphasé :

$$i_1 = i_0$$

$$i_2 = i_0\left(-\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$i_3 = i_0\left(-\frac{1}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

Cîmpul eliptic :
Champ elliptique

Avem : $B_y = a + jb$
On pose : $B_x = c + jd$,

adică în temporal :
soit en temporel :

$$B_x = c\cos\omega t + d\sin\omega t.$$
$$B_y = a\cos\omega t + b\sin\omega t;$$

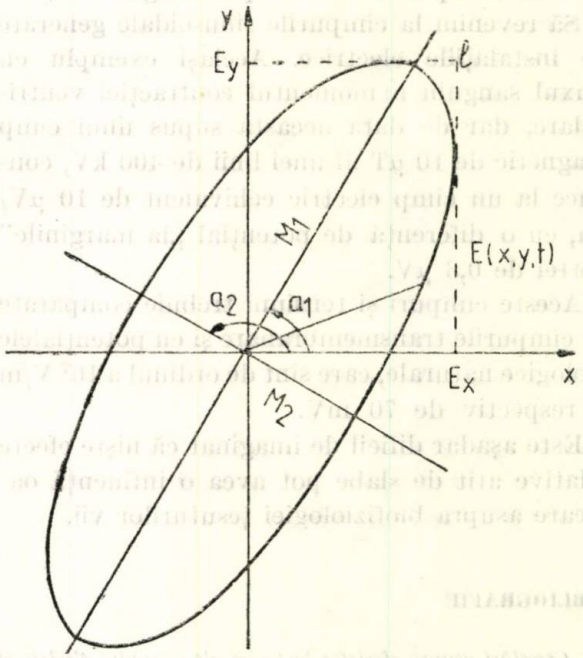


Fig. 3

Modulul axelor M_1M_2 este dat de :
Le module des axes M_1, M_2 est donné par :

$$M_1, M_2 = \left\{\frac{1}{1+\rho^2}\left[(a^2+c^2)+(b^2+d^2)\rho^2+2(ab+cd)\rho\right]\right\}^{1/2}$$

$$\text{tg}\alpha_1,\ \text{tg}\alpha_2 = \frac{a+b\rho}{c+d\rho}$$

cu :
avec :

$$\rho = \frac{K \pm \sqrt{K^2+4}}{2},\quad \text{unde / où } K = \frac{(b^2+d^2)-(a^2-c^2)}{(ab+cd)}$$

Lucrarea abordează problema protecției contra loviturilor directe de trăsnet utilizînd metoda „sferei fictive", metodă ce are la bază modelul electrogeometric.

În acest sens s-a elaborat un program de calcul care permite dimensionarea instalațiilor de protecție a stațiilor electrice de tip exterior sau a altor obiective ce ocupă o suprafață mare.

Modelul electrogeometric reprezintă o etapă superioară față de modelul pe baza căruia, în urma încercărilor de laborator, au fost realizate normativele. Cu toate aproximările sale acest model este mult mai corect din punct de vedere științific și reprezintă un instrument de lucru simplu, elastic, susceptibil de a fi îmbunătățit.

Protecția stațiilor electrice contra loviturilor directe de trăsnet

Prof. dr. ing. NICOLAE GOLOVANOV, ing ADRIANA TRUȘCĂ*

The paper deals with the lightning protection question. The „imaginary sphere's method, founded on the electrogeometrycal model is used.

In this purpose it was elaborated a programm permiting the lightning protection equipments' design for the stations or others bildings which have a big expanse.

The electrogeometrycal model represents superior stage than the classic model wich is used today to justify the normatives' elaboration.

This model is with all its approximations more correct from scientific viewpoint and represents an uncomplicated and elastic instrument for design.

Descriptori: protecție electrică, descărcări atmosferice, stații electrice

Introducere

Limitarea efectelor negative ale căderii trăsnetului în instalațiile electrice se realizează cu ajutorul paratrăsnetelor verticale și/sau orizontale conectate la o priză de pămînt de valoare redusă.

Dimensionarea instalației de protecție: numărul și tipul de paratrăsnete, locul de amplasare, înălțimea activă ca și rezistența electrică a prizei de legare la pămînt se face la ora actuală pe baza unor normative [1] specifice fiecărui tip de instalație. Relațiile de calcul care conduc la stabilirea dimensiunilor zonei de protecție a paratrăsnetelor au fost deduse pe baza unor ample încercări de laborator și au fost în mare măsură confirmate de datele statistice privind comportarea în exploatare a instalațiilor de protecție. Realizarea instalațiilor de foarte înaltă tensiune la care au fost impuse condiții deosebite de siguranță în funcționare a determinat aprofundarea studiilor privind mecanismul „alegerii" punctului de impact al trăsnetului, ceea ce a dus la elaborarea modelului electrogeometric [2, 3] pentru stabilirea zonei de protecție a unei instalații.

1. Utilizarea modelului electrogeometric pentru dimensionarea instalației de protecție cu paratrăsnete

Utilizarea modelului electrogeometric în dimensionarea instalațiilor de protecție cu paratrăsnete permite luarea în considerație, în limitele unor ipoteze simplificatoare, a mecanismului de dezvoltare a unei descărcări sub formă de trăsnet, probabilitatea cu care este lovit un obiect de pe sol, riscul de lovire a unui obiect aflat în apropierea unei instalații cu paratrăsnete.

* Facultatea de Energetică — Universitatea Politehnică, București

Modelul electrogeometric este utilizat în prezent în mod uzual pentru dimensionarea instalaţiei de protecţie la liniile electrice aeriene de foarte înaltă tensiune (paratrăsnete orizontale) [4, 5].

În cazul staţiilor electrice exterioare ca şi în cazul altor obiective civile sau industriale care ocupă o suprafaţă mare sînt utilizate în prezent în special paratrăsnete verticale. În aceste cazuri dimensionarea instalaţiei de protecţie utilizînd modelul electrogeometric se poate face pe baza metodei „sferei fictive".

Această metodă are la bază ipoteza specifică modelului electrogeometric şi anume că vîrfului liderului descendent i se ataşează o sferă fictivă de rază R. Raza sferei fictive corespunde distanţei faţă de punctul lovit, la care canalul de trăsnet se orientează spre acesta.

Distanţa de orientare R poate fi calculată pe baza unei relaţii de forma

$$R = a \cdot I^b, \tag{1}$$

unde :

I este amplitudinea curentului de trăsnet ;

a şi b — coeficienţi stabiliţi pe baza studiilor experimentale asupra fenomenelor oragioase.

La dezvoltarea liderului spre sol primul obiect care este atins de această sferă va fi afectat de lovitura de trăsnet. Plecînd de la această ipoteză zona de protecţie se poate stabili pe baza următoarei metodologii : se imaginează o sferă fictivă de rază R care se rostogoleşte pe sol în orice direcţie, fără a pierde contactul cu solul şi cu dispozitivul de protecţie. Dacă în timpul acestei deplasări sfera nu întîlneşte obiectul de protejat atunci protecţia este asigurată.

Pentru cazul simplu al unui singur paratrăsnet vertical metoda „sferei fictive" este ilustrată în figura 1 (secţiune verticală).

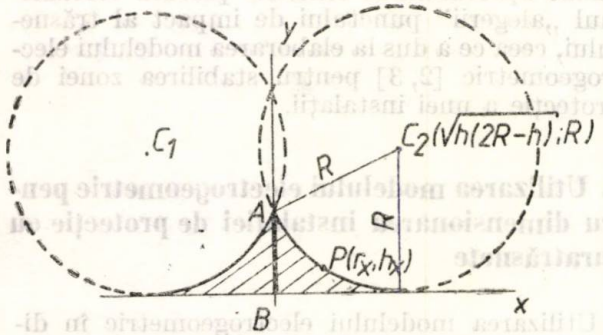


Fig. 1. Zona de protecţie a unui paratrăsnet vertical avînd înălţimea $h < R$; secţiune verticală.

Un punct P de pe curba ce mărgineşte zona de protecţie în secţiune verticală are coordonatele :

$$\begin{cases} x = rx = \sqrt{h(2R - h)} - \sqrt{hx(2R - hx)}, \\ y = hx \end{cases} \tag{2}$$

unde h este înălţimea totală a paratrăsnetului vertical.

Metoda „sferei fictive" permite corelarea dimensiunilor zonei de protecţie cu riscul acceptat de avariere a unui obiect plasat în zona de protecţie cu condiţia cunoaşterii curbei de repartiţie statistică a amplitudinii curentului de trăsnet. Este posibilă în acest fel dimensionarea instalaţiei de protecţie în funcţie de importanţa economică a fiecărui obiectiv, o apreciere economică a instalaţiei de protecţie pe baza acceptării consecinţelor unor anumite valori ale intensităţii curentului de trăsnet care poate trece prin ecranajul realizat de instalaţia de protecţie.

Instalaţiile de protecţie contra loviturilor directe de trăsnet, în cazul staţiilor exterioare, cuprind un mare număr de paratrăsnete de aceeaşi înălţime sau de înălţimi diferite, putînd fi grupate sub forma unor configuraţii simple. Pe baza metodei „sferei fictive" pot fi stabilite următoarele expresii privind zona de protecţie :

a) paratrăsnet vertical unic de înălţime h

În figura 1 este reprezentată o secţiune verticală prin zona de protecţie a unui paratrăsnet vertical pentru cazul în care înălţimea paratrăsnetului este mai mică decît raza de orientare.

Pentru cazul $R < h$ trebuie să se ţină cont şi de faptul că pe lîngă vîrful paratrăsnetului şi punctele tijei sale pot capta trăsnetele. În acest caz coordonatele punctului P sînt :

$$\begin{cases} x = rx = R - \sqrt{hx(2R - hx)} \\ y = hx \end{cases} \tag{3}$$

b) două paratrăsnete verticale de înălţimi diferite

În figura 2*a* este reprezentată o secţiune verticală prin zona de protecţie a două paratrăsnete verticale de înălţimi $h_1 < h_2 < R$.

În figura 2*b* este reprezentată o secţiune orizontală la nivelul hx (zona haşurată mai intens) şi la nivelul solului.

Înălţimea minimă a zonei de protecţie este :

$$p = R - r_1 \tag{4}$$

cu

$$r_1 = \sqrt{E^2 + (R - (h_1 + h_2)/2)^2} \cdot \sqrt{(h_2 - h_1)^2 + 4E^2}/2E \tag{5}$$

unde : $2E$ — distanţa dintre paratrăsnete ;
h_1, h_2 — înălţimea paratrăsnetelor.

c) trei paratrăsnete de aceeași înălțime așezate în vîrfurile unui triunghi ascuțitunghic

Înălțimea minimă a zonei de protecție în interiorul triunghiului este :

$$p = h - R + \sqrt{R^2 - r^2}, \qquad (6)$$

unde : r — raza cercului circumscris triunghiului.

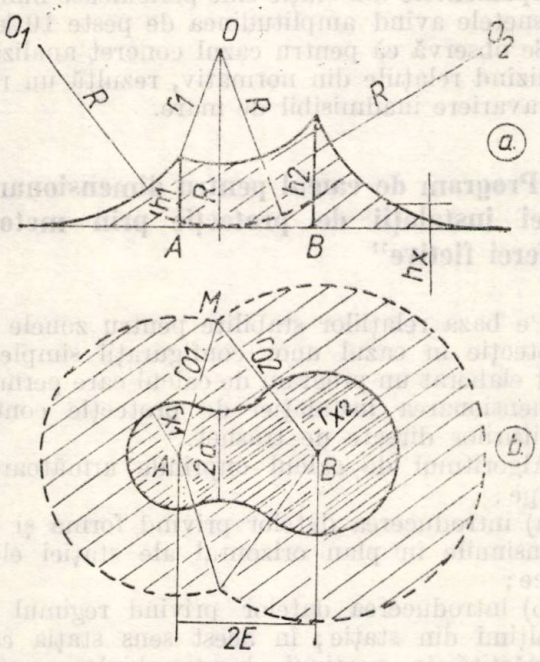


Fig. 2. Zona de protecție a două paratrăsnete de înălțimi $h_1 < h_2 < R$: a — secțiune verticală ; b — secțiune orizontală la nivelul h_x ;

$$rx_1 = \sqrt{h_1(2R - h_1)} - \sqrt{h_x(2R - h_x)}\,; \; rx_2 = \sqrt{h_2(2R - h_2)} - \sqrt{h_x(2R - h_x)}$$

$$rO_1 = \sqrt{h_1(2R - h_1)}\,; \; rO_2 = \sqrt{h_2(2R - h_2)}.$$

În figura 3 este reprezentată zona de protecție în secțiune orizontală la nivelul hx.

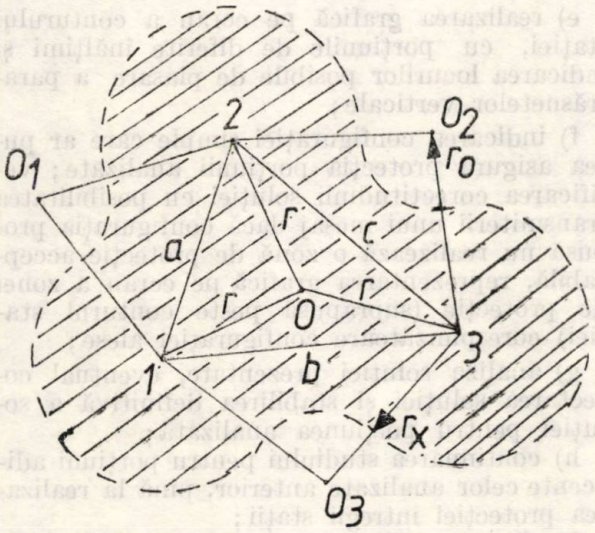


Fig. 3. Zona de protecție a trei paratrăsnete verticale așezate în colțurile unui triunghi ascuțitunghic și avînd aceeași înălțime h. Secțiune orizontală.

d) patru paratrăsnete verticale de aceeași înălțime așezate în colțurile unui dreptunghi

În figura 4 este reprezentată o secțiune orizontală la nivelul hx prin zona de protecție.

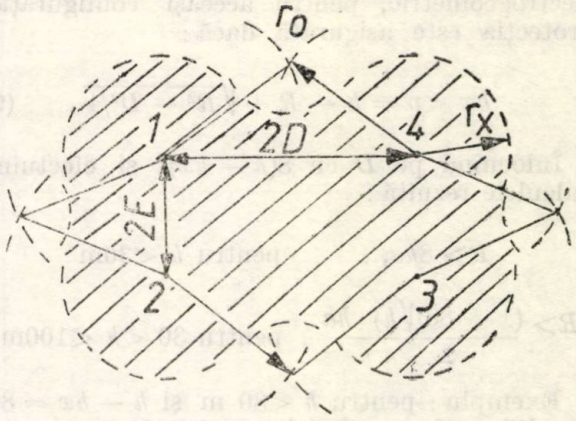


Fig. 4. Zona de protecție pentru patru paratrăsnete verticale de aceeași înălțime așezate în colțurile unui dreptunghi. Secțiune orizontală ;

$$rx = \sqrt{h(2R - h)} - \sqrt{hx(2R - hx)}\,; \; rO = \sqrt{h(2r - h)}.$$

Înălțimea minimă a zonei de protecție în interiorul dreptunghiului este :

$$p = h - R + \sqrt{R^2 - (D^2 + E^2)} \qquad (7)$$

unde : 2D și 2E sînt dimensiunile laturilor dreptunghiului.

2. Comparație între metodele de stabilire a dimensiunilor zonei de protecție

Rezultatele obținute pe baza modelului electrogeometric corespund cu datele deduse folosind normativele în vigoare numai pentru o anumită valoare a riscului admis și o anumită înălțime a zonei protejate. Astfel, pentru cazul a patru paratrăsnete așezate în colțurile unui dreptunghi, conform normativului PE 109/74 condiția necesară pentru ca întreaga suprafață interioară să fie protejată este :

$$D < 8ha \cdot k \qquad (8)$$

unde : D este diagonala dreptunghiului ;

$ha = h - hx$;

h — înălțimea totală (tijă paratrăsnet + stîlp) ;

hx — înălțimea nivelului cercetat ;

$$k = \begin{cases} 1 \text{ pentru } h < 30 \text{ m} \\ \dfrac{5{,}5}{\sqrt{h}} \text{ pentru } 30 < h < 100 \text{ m} \end{cases}$$

La limită se alege deci;

$$D = 8ha \cdot k$$

Conform relaţiilor obţinute pe baza modelului electrogeometric, pentru aceeaşi configuraţie, protecţia este asigurată dacă:

$$hx < p = h - R + \sqrt{R^2 - D^2/4} \qquad (9)$$

Înlocuind pe D cu $8(h - hx)k$ şi efectuînd calculele rezultă:

$$R > 8ha, \qquad \text{pentru } h < 30\text{m}$$

$$R > \frac{(1 + 88/\sqrt{h}) \cdot ha}{2}, \qquad \text{pentru } 30 < h < 100\text{m}$$

Exemplu: pentru $h < 30$ m şi $h - hx = 8m$ rezultă conform relaţiei (10) $R > 64$ m.

Pe baza modelului electrogeometric dacă se consideră relaţia $R = 9{,}4I^{2/3}$ unei raze de orientare de 64 m îi corespunde o amplitudine a curentului de trăsnet de 17,76 kA.

Rezultă că prin ecranaj pot pătrunde trăsnete cu $I < 17{,}76$ kA, deci riscul cu care se realizează protecţia este $r = 100 - x\% = 17\%$ conform distribuţiei în linie frîntă a amplitudinii curentului de trăsnet (fig. 5).

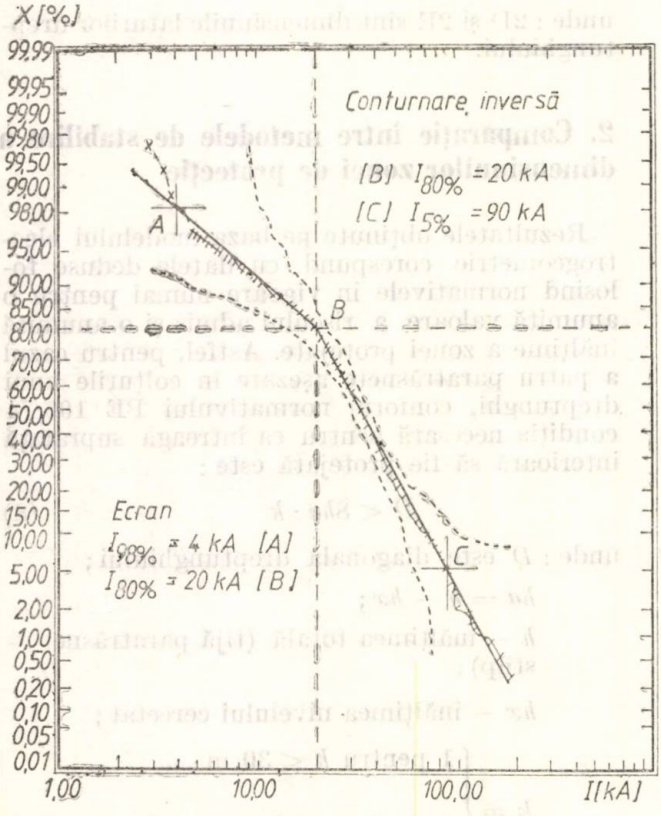


Fig. 5. Distribuţia probabilistică în linie frîntă pentru trăsnete descendente negative.

Pentru cazul staţiei de 400/110 kV pe care am studiat-o, amplasată într-o zonă cu patru trăsnete/km² şi an rezultă un risc de avariere Ra:

$$\text{Ra} = 0{,}035 \cdot 4 \cdot (92 - 83) = 1{,}26\%.$$

În relaţia de mai sus s-a considerat că pentru echipamentele din staţie sînt periculoase numai trăsnetele avînd amplitudinea de peste 10 kA.

Se observă că pentru cazul concret analizat, utilizînd relaţiile din normativ, rezultă un risc de avariere inadmisibil de mare.

3. Program de calcul pentru dimensionarea unei instalaţii de protecţie prin metoda „sferei fictive"

Pe baza relaţiilor stabilite pentru zonele de protecţie în cazul unor configuraţii simple a fost elaborat un program de calcul care permite dimensionarea instalaţiei de protecţie contra loviturilor directe de trăsnet.

Algoritmul de calcul cuprinde următoarele etape:

a) introducerea datelor privind forma şi dimensiunile în plan orizontal ale staţiei electrice;

b) introducerea datelor privind regimul de înălţimi din staţie; în acest sens staţia este împărţită în porţiuni dreptunghiulare avînd aceeaşi înălţime la care trebuie asigurată protecţia;

c) introducerea datelor privind locurile posibile de montare a paratrăsnetelor verticale în staţie;

d) stabilirea valorii curentului de protecţie corelat cu riscul acceptat de avariere a instalaţiei protejate;

e) realizarea grafică pe ecran a conturului staţiei, cu porţiunile de diferite înălţimi şi indicarea locurilor posibile de plasare a paratrăsnetelor verticale;

f) indicarea configuraţiei simple care ar putea asigura protecţia porţiunii analizate; verificarea corectitudinii soluţiei cu posibilitatea transmiterii unui mesaj dacă configuraţia propusă nu realizează o zonă de protecţie acceptabilă, reprezentarea grafică pe ecran a zonei de protecţie (suprapusă peste conturul staţiei) corespunzătoare configuraţiei alese;

g) analiza soluţiei prezentate, eventual corectarea soluţiei şi stabilirea definitivă a soluţiei pentru porţiunea analizată;

h) continuarea studiului pentru porţiuni adiacente celor analizate anterior, pînă la realizarea protecţiei întregii staţii;

i) afişarea configuraţiei staţiei cu poziţia paratrăsnetelor rezultată din calcule.

Programul de calcul a fost concret aplicat în cazul unei staţii de 400/110 kV, mai exact pentru partea de 400 kV a staţiei.

Folosind formulele empirice pentru realizarea zonei de protecţie sînt necesare 35 de paratrăsnete, dintre care 26 cu o înălţime de 8 m şi 9 cu o înălţime de 11 m.

În cazul variantei modelului electrogeometric sînt suficiente 34 de paratrăsnete dintre care 14 cu o înălţime de 6 m, 9 de 8 m, 4 de 10 m, 1 de 1 m şi 6 de 12 m înălţime.

Folosind metoda sferei fictive ca metodă de aplicare a modelului electrogeometric soluţia obţinută este mai corectă din punct de vedere ştiinţific şi mai convenabilă din punct de vedere economic decît soluţia obţinută folosind relaţiile empirice.

Ţinînd cont de riscul cu care se realizează protecţia în cazul folosirii metodei sferei fictive este de 1‰, iar în cazul clasic atinge în anumite zone şi 25% şi considerînd numai investiţiile suplimentare care se fac pentru realizarea schemei de protecţie comparativ cu cele făcute pentru construcţia staţiei s-a obţinut următorul raport :

$$CTA_1 = 35\% CTA_2,$$

unde :

CTA_1, CTA_2 sînt cheltuieli totale actualizate pentru soluţia obţinută folosind modelul electrogeometric şi respectiv metoda clasică.

Concluzii

Modelul electrogeometric permite elaborarea metodei „sferei fictive" folosită în stabilirea dimensiunilor zonei de protecţie în cazul instalaţiilor de protecţie contra loviturilor directe de trăsnet a staţiilor electrice de tip exterior sau a altor obiective ce ocupă o suprafaţă mare.

Programul de calcul convenţional realizat permite proiectantului de instalaţii de protecţie contra loviturilor directe de trăsnet să analizeze un număr mare de soluţii şi să adopte soluţia cea mai eficientă din punct de vedere tehnico-economic.

Modelul electrogeometric care stă la baza programului realizat reprezintă o etapă superioară faţă de modelul pe baza căruia, în urma încercărilor de laborator, au fost elaborate normativele. În faza actuală de elaborare, modelul electrogeometric nu permite să se ia complet în consideraţie totalitatea aspectelor legate de fenomenul de dezvoltare a unei lovituri de trăsnet. Astfel, modelul electrogeometric este valabil numai pentru trăsnete negative descendente (la noi în ţară acestea sînt în proporţie de 80—90% din toate trăsnetele), nu ţine cont de dispersia traiectoriei, ceea ce face ca stabilirea punctului de impact să nu se facă determinist; de asemenea nu dă rezultate bune în cazul paratrăsnetelor de înălţime mică.

Cu toate aproximările sale, modelul electrogeometric rămîne un instrument de lucru simplu, elastic, susceptibil de îmbunătăţiri, util în dimensionarea zonelor de protecţie contra loviturilor directe de trăsnet.

Programul elaborat este un mijloc eficient în stabilirea soluţiei optime de protecţie. Veridicitatea rezultatelor obţinute este dependentă de corectitudinea informaţiilor existente privind parametrii fenomenelor oragioase din ţara noastră.

Datele privind valorile coeficienţilor a şi b din relaţia (1) ca şi informaţiile referitoare la probabilitatea apariţiei unei anumite valori a amplitudinii intensităţii curentului de trăsnet sînt în general preluate din studii efectuate în alte zone geografice. La noi în ţară în acest domeniu studiile sînt insuficiente.

BIBLIOGRAFIE

[1] M.E.E. PE 109/89 *Normativ privind alegerea izolaţiei, coordonarea izolaţiei şi protecţia instalaţiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor*, Bucureşti, ICEMENERG

[2] Armstrong, H. R., Whitehead, E. R. *Field and analytical studies of transmission lines shielding*, partea I. În : *IEEE* Trans. PAS, 1968, nr. 87, p. 270—281.

[3] Brown, G. W., Whitehead, E. R. *Field and analytical studies of transmission lines shilding*, pt. II. In : IEEE Trans. PAS, 1969, nr. 88 pg. 1823—1830.

[4] Cristescu, D., Postolache, P. *Effet d'écran du cable de garde. Probabilité de defaillance*, în : Bul. I.P.B. seria Electrotehnica, 1981, XLIII, nr. 1, p. 55—62.

[5] Postolache, P. *Elaborarea unei teorii unitare privind producerea supratensiunilor atmosferice*. Teză de doctorat I.P.B., 1991

[6] Anderson, R. B., Eriksson, A.J. *Recapitulation des paramètres de la foudre. Application technique*. CIGRE, session 1980, rapport du Commiteé d'Etudes 33.

(Primit la 23 decembrie 1991, acceptat la 29 octombrie 1992)

Cooperarea internațională în sectorul electric

Ing. ION CONECINI *

Într-o Europă care evoluează rapid, perspectiva unei integrări întărite de Comunitatea Europeană, deschiderea relațiilor internaționale ca urmare a căderii „cortinei de fier" și angajării crescînde a industriilor sectorului electric se pune tot mai des întrebarea : Este momentul realizării unui sistem interconectat în Europa?

Avînd în vedere sarcina principală a companiilor de electricitate de a furniza energie ieftină, sigură, corespunzătoare și compatibilă din punctul de vedere al mediului înconjurător se consideră că a devenit o necesitate cooperarea sistemelor energetice vest-europene cu rețeaua interconectată est-europeană și integrarea lor într-un singur sistem interconectat.

Articolul prezintă situația existentă și argumentele pentru realizarea unui sistem energetic interconectat pe continentul european.

In a quickly developping Europe, with an integration view inhanced by the European Community, and the development of the international relations as a sequence of falling the „iron curtain" with a stronger implication of the electric field industries, the following question becomes more and more frequent: Has already the time come for achieving an interconnected system in Europe?

Taking into account the electric energy companies' main task of delivering energy cheap, safety, corresponding to and consistent with the requirements for the environmental protection, the author considers as being very necessary the cooperation between west European energy systems and East European interconnected network and their integration within only one interconnected system.

The article presents the present situation and the motivation for carrying out such an inter connected power system in Europe.

Descriptori: management, activitate internațională, întreprinderi de electricitate

Evoluția rapidă a Europei, crearea Comunității Economice Europene și perspectiva unei lărgiri a acesteia prin integrarea țărilor din Centrul și Estul Europei, precum și a celor din bazinul Mediteranean au determinat o deschidere a relațiilor internaționale, implicînd o angajare deschisă și a întreprinderilor care asigură alimentarea cu energie electrică a țărilor respective.

De altfel, semnarea, la 25 martie 1957, a Tratatului de la Roma prin care se instituia Comunitatea Economică Europeană (CEE) și Comunitatea Europeană pentru Energie Atomică (Euratom) a fost precedată de crearea, la 18 aprilie 1951, a Comunității Europene a Cărbunelui și Oțelului (CECO), cu șase state membre: Franța, Germania, Italia, Olanda, Belgia și Luxemburg.

La 1 ianuarie 1975 au aderat oficial la CEE, Marea Britanie, Irlanda și Danemarca; la 1 ianuarie 1981 Grecia devine al zecelea membru,

* Director general Divizia personal și protecție socială, Regia Autonomă de Electricitate

iar la 1 ianuarie 1986 Spania și Portugalia au devenit state membre ale CEE.

La 17 decembrie 1991 a fost perfectat acordul de asociere a CEE cu Polonia, Ungaria și Ceho-Slovacia, iar la 17 noiembrie 1992 cu România.

În același timp a fost creată, la 4 ianuarie 1960, la inițiativa britanicilor, Asociația Europeană a Liberului Schimb (AELS), a intrat în vigoare, la 13 martie 1979, Sistemul Monetar European și a apărut ECU (European Currency Unit — Unitatea Monetară Europeană), este ales Parlamentul European în 7 — 10 iunie 1974 și este adoptat Tratatul de la Maastricht privind Uniunea Europeană, la 9—10 decembrie 1991.

Prin acordul din 3 mai 1992 privind Spațiul Economic European (SEE) se va crea (în cazul ratificării sale), începînd cu 1 ianuarie 1993, o piață uriașă, cu 380 milioane locuitori, ce cuprinde țările membre CEE și AELS.

În domeniul energiei electrice, schimburile de electricitate dincolo de frontiere au precedat chiar constituirea Pieții Comune și căderea „cortinei de fier". Colaborarea între marile rețele electrice de interconexiune a condus la optimizarea funcționării sistemelor electrice și la atenuarea dezacordurilor regionale.

Industria alimentării cu energie electrică nu numai că poate, dar trebuie să contribuie la acțiunea de căutare a unei amortizări, a unei integrări și a unei eficiențe sporite, fundamentate pe crearea unui spațiu unic comunitar și pe o colaborare internațională intensificată. La nivelul Europei această industrie are o tradiție îndelungată de cooperare internațională.

Rețeaua interconectată de electricitate de astăzi nu a fost înființată peste noapte, ca rezultat al unui singur acord, ci reprezintă punctul culminant al unei evoluții care a durat ani de zile. Începuturile integrării rețelei internaționale din Europa vestică ne duc în timp în anii 1920.

Intreprinderile care asigură alimentarea cu energie electrică au demonstrat că au capacitate pentru dezvoltarea inițiativei, experiență și competență profesională, probate și cu ocazia participării la numeroasele sesiuni ale Conferinței Internaționale a Marilor Rețele Electrice de Înaltă Tensiune — CIGRE — înființată încă din 1921.

În anul 1925 a fost înființată Uniunea Internațională a Producătorilor și Distribuitorilor de Energie Electrică — UNIPEDE — la care a aderat și România alături de alte cîteva țări din centrul și estul Europei.

Scopul acestei Uniuni nu este de a stabili reglementări obligatorii sau să definească un sistem unitar pentru toate țările, ci să arate care este viitorul sectorului electric coordonat, să prevadă o evoluție viitoare în condițiile date, să dea posibilitatea să se gîndească mai departe în timp și să asigure informații și idei care să permită definirea propriilor strategii în țările respective.

În prezent în Europa s-au dezvoltat mai multe sisteme interconectate (fig. 1 și fig. 2).

1) Principalul sistem interconectat acoperă întreaga Europă de vest continentală, contribuind semnificativ la creșterea siguranței și profitabilității furnizării de energie electrică prin intermediul asistenței mutuale în cazul funcționării defectuoase, asigurarea de rezerve și schimbul regulat de energie în scopul perfecționării producerii energiei în țările implicate.

În anul 1951 a fost fondată Uniunea pentru Coordonarea Producției și Transportului de Electricitate — UCPTE Austria, Belgia, Franța, Italia, Luxemburg, Olanda, Elveția și Germania de Vest fiind statele membre fondatoare. Lor li s-a alăturat Spania, Portugalia, Iugoslavia și Grecia. Rețeaua Albaniei, stat care nu este membru UCPTE, lucrează în paralel cu rețeaua UCPTE.

De asemenea, sectoarele rețelei daneze care sînt plasate pe continent fac parte din UCPTE, deși Danemarca este considerată racordată la sistemul Nordel. În figura 3 sînt indicate rețelele interconectate ale țărilor UCTPE și legăturile cu alte sisteme, iar în figura 4 se arată statutul curent al sistemului interconectat UCPTE cu defalcarea pe capacități naționale la vîrful de sarcină din 1989.

2) Avînd în vedere așezarea lor geografică, țările scandinave au operat propriul lor sistem interconectat. Rețelele electrice ale Norvegiei, Suediei, Finlandei și Danemarcei sînt legate prin sistemul Nordel. Intre sistemul Nordel și sistemul UCPTE există linii de legătură prin Danemarca.

3) Marea Britanie, fiind o insulă, are rețeaua sa națională, care poate fi legată prin linii curente directe de rețeaua Franței.

În figura 5 sînt indicate principalele date care oglindesc importanța sectorului energiei electrice, la nivelul anului 1989, iar în figura 6 tendințele de consum de energie electrică în țările Comunității Europene.

Dependența tuturor partenerilor unul față de altul, ca rezultat al acestor sisteme interconectate, necesită un număr de reguli care trebuie să fie urmate, prin aceasta impunîndu-se ca fiecare din partenerii contractuali să aibă grijă de siguranța propriei sale rețele și să țină o capacitate disponibilă pentru eventualitatea unor avarii.

Din ansamblul de norme pe care trebuie să le îndeplinească rețelele partenerilor interconectați în sistemele din vest se remarcă :

• Rezerva de reglaj „de secundă", respectiv fiecare companie de electricitate trebuie să mențină o capacitate de rezervă suficientă pentru a fi în măsură să crească rapid puterea

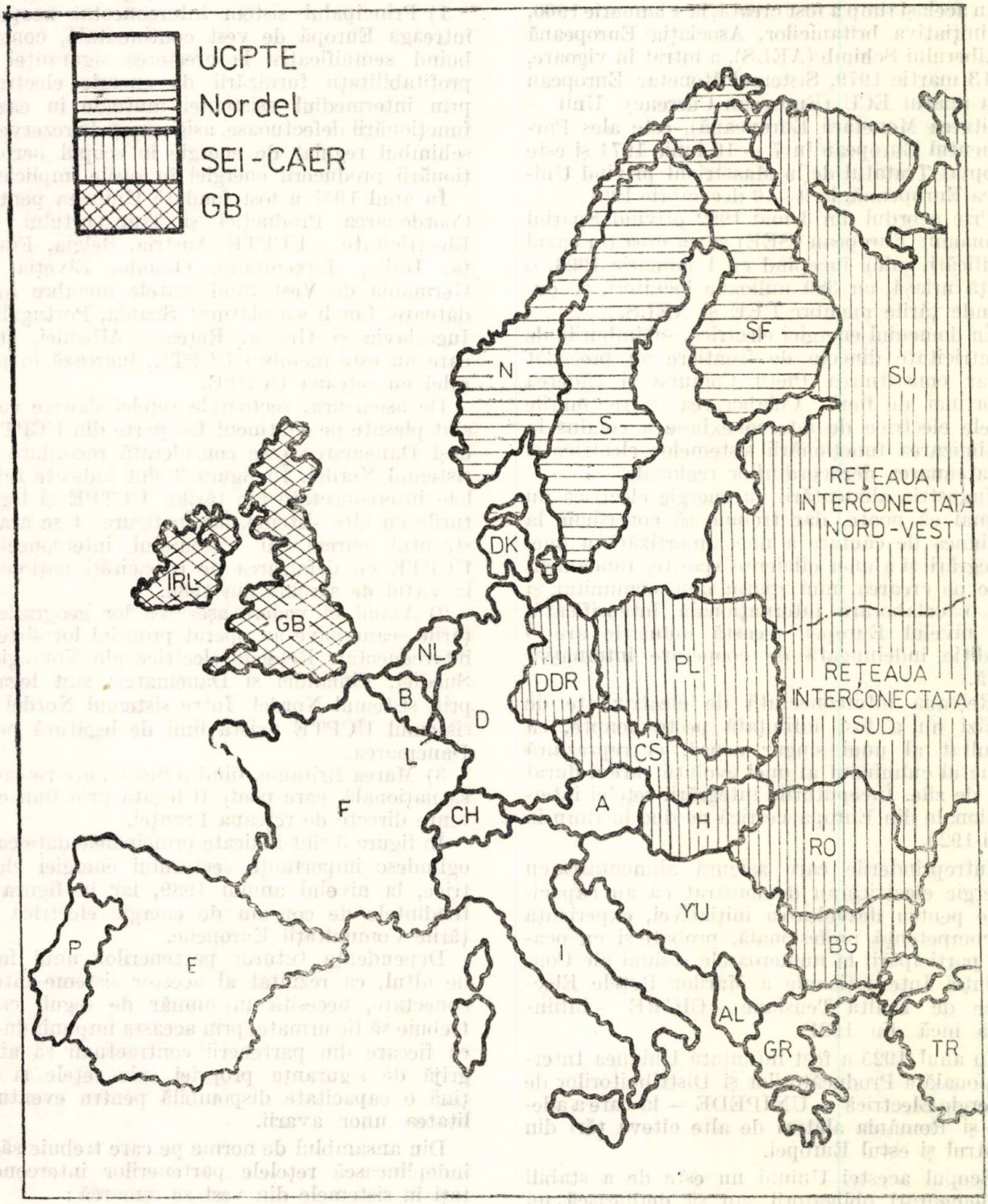


Fig. 1. Sistemele interconectate din Europa.

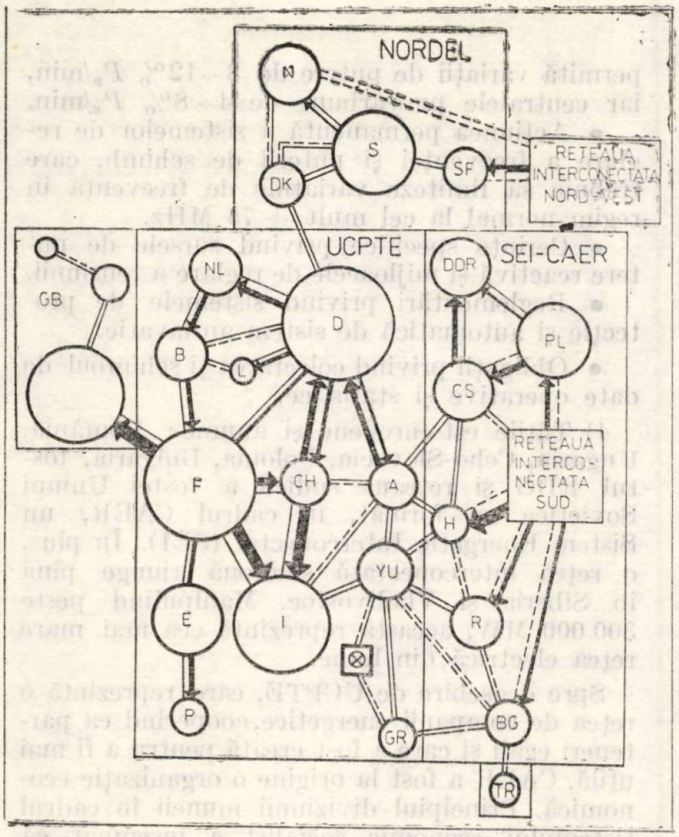


Fig. 2. Sistemele electrice interconectate din Europa și legăturile dintre ele.

Fig. 3. Rețelele de interconexiune ale țărilor UCPTE.

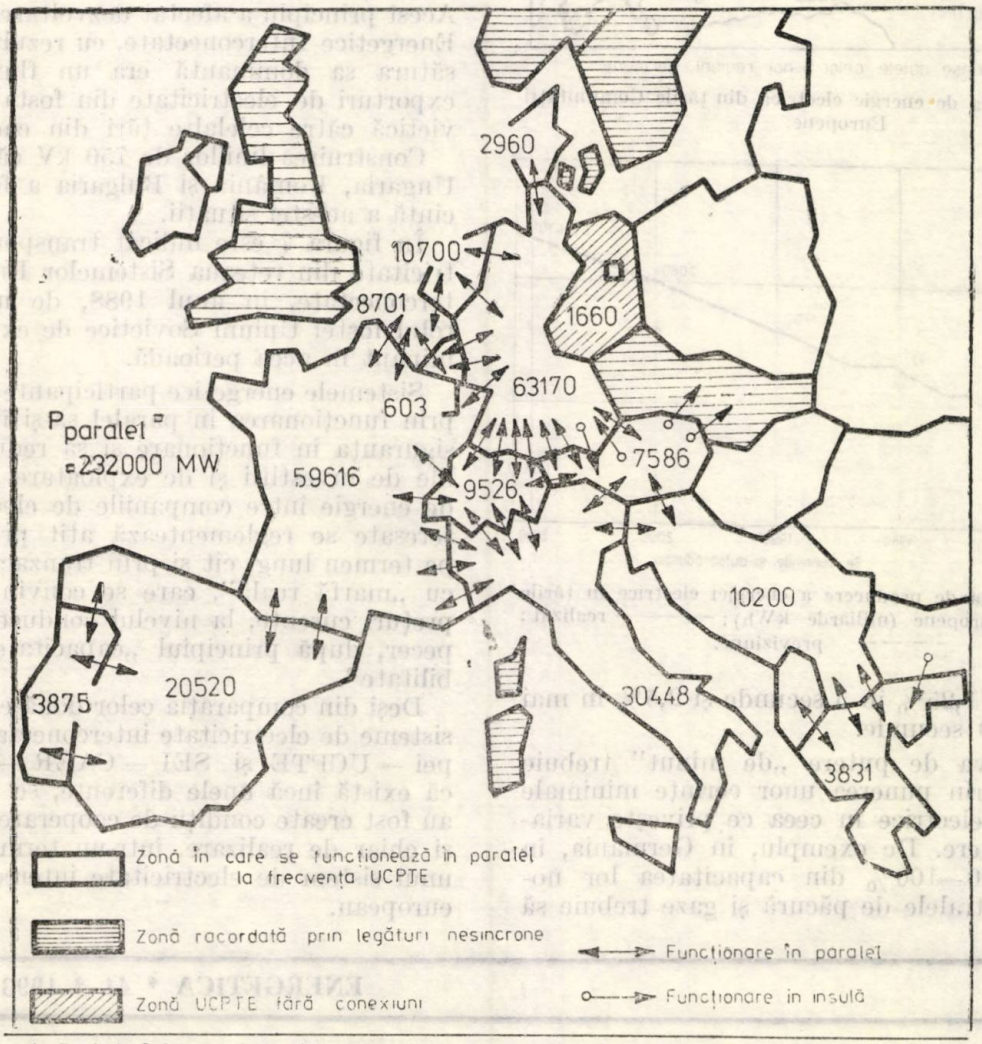
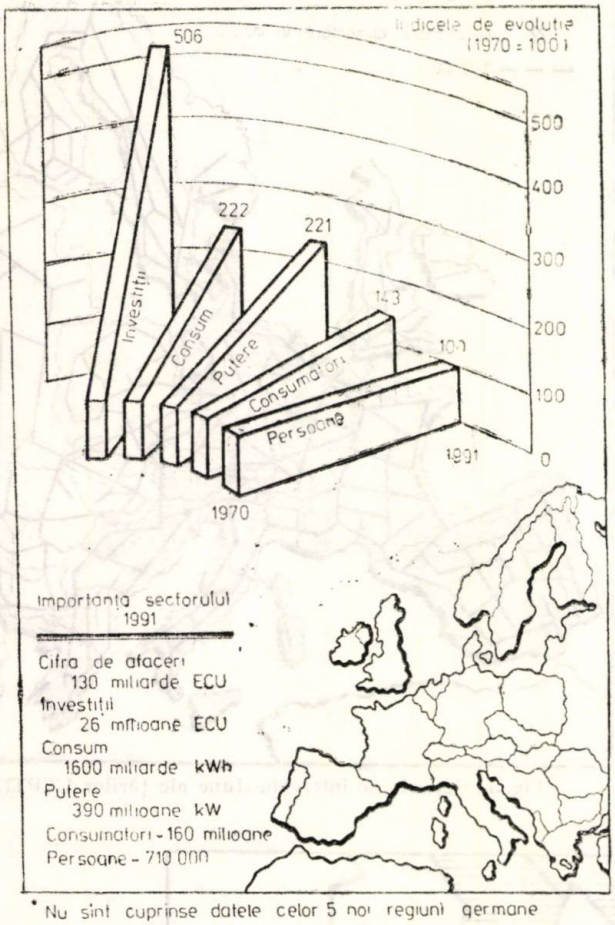


Fig. 4. Schimbul de energie în sistemul interconectat UCPTE cu defalcarea pe capacități naționale la vîrf de sarcină din 1989.



* Nu sînt cuprinse datele celor 5 noi regiuni germane

Fig. 5. Industria de energie electrică din țările Comunității Europene.

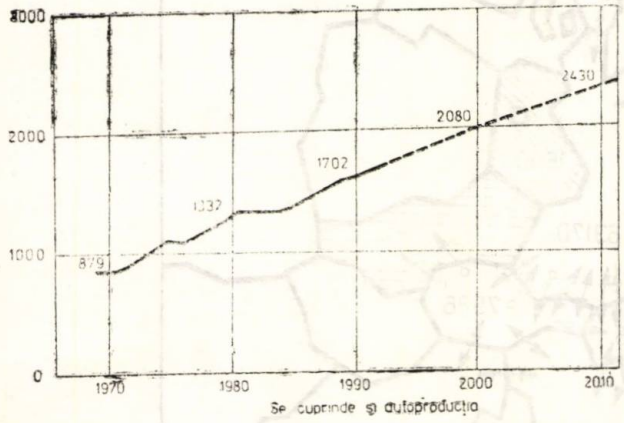


Fig. 6. Tendința de producere a energiei electrice în țările Comunității Europene (miliarde kWh): ———— realizat; – – – – previziune.

de ieșire cu 1,25% în 5 secunde și 2,5% în mai puțin de 30 secunde.

• Rezerva de putere „de minut" trebuie asigurată prin punerea unor cerințe minimale centralelor electrice în ceea ce privește variațiile de putere. De exemplu, în Germania, în domeniul 40—100% din capacitatea lor nominală, centralele de păcură și gaze trebuie să permită variații de putere de 8—12% P_n/min, iar centralele pe cărbune de 4—8% P_n/min.

• Acțiunea permanentă a sistemelor de reglare a frecvenței și puterii de schimb, care trebuie să limiteze variațiile de frecvență în regim normal la cel mult $\pm$ 75 MHz.

• Cerințe specifice privind sursele de putere reactivă și mijloacele de reglare a tensiunii.

• Reglementări privind sistemele de protecție și automatică de sistem antiavarie.

• Obligații privind colectarea și schimbul de date operative și statistice.

4) Țările est-europene și anume: România, Ungaria, Ceho-Slovacia, Polonia, Bulgaria, fostul RDG și rețeaua sudică a fostei Uniuni Sovietice au format, în cadrul CAER, un Sistem Energetic Interconectat (SEI). În plus, o rețea interconectată sincronă ajunge pînă în Siberia și Vladivostoc. Manipulînd peste 300 000 MW, aceasta reprezintă cea mai mare rețea electrică din lume.

Spre deosebire de UCPTE, care reprezintă o rețea de companii energetice, cooperînd ca parteneri egali și care a fost creată pentru a fi mai utilă, CAER a fost la origine o organizație economică. Principiul diviziunii muncii în cadrul sistemului economic socialist a însemnat că anumite sarcini economice erau realizate de unele țări în interesul celorlalte țări membre. Acest principiu a afectat dezvoltarea Sistemelor Energetice Interconectate, cu rezultatul că trăsătura sa dominantă era un flux major de exporturi de electricitate din fosta Uniune Sovietică către celelalte țări din cadrul CAER.

Construirea liniilor de 750 kV către Polonia, Ungaria, România și Bulgaria a fost o consecință a acestei situații.

În figura 7 este indicat transportul de electricitate din rețeaua Sistemelor Energetice Interconectate, în anul 1988, de unde rezultă rolul fostei Uniuni Sovietice de exportator dominant în acea perioadă.

Sistemele energetice participante urmăresc ca prin funcționarea în paralel să-și îmbogățească siguranța în funcționare și să reducă cheltuielile de investiții și de exploatare. Schimburile de energie între companiile de electricitate interesate se reglementează atît prin contracte pe termen lung, cît și prin tranzacții spontane, cu „marfă reală", care se convin operativ la prețuri curente, la nivelul conducerilor de dispecer, după principiul „capacitate și disponibilitate".

Deși din comparația celor două cele mai mari sisteme de electricitate interconectate ale Europei — UCPTE și SEI — CAER — se constată că există încă unele diferențe, se apreciază că au fost create condiții de cooperare mai intensă și chiar de realizare, într-un termen mediu, a unui sistem de electricitate interconectat paneuropean.

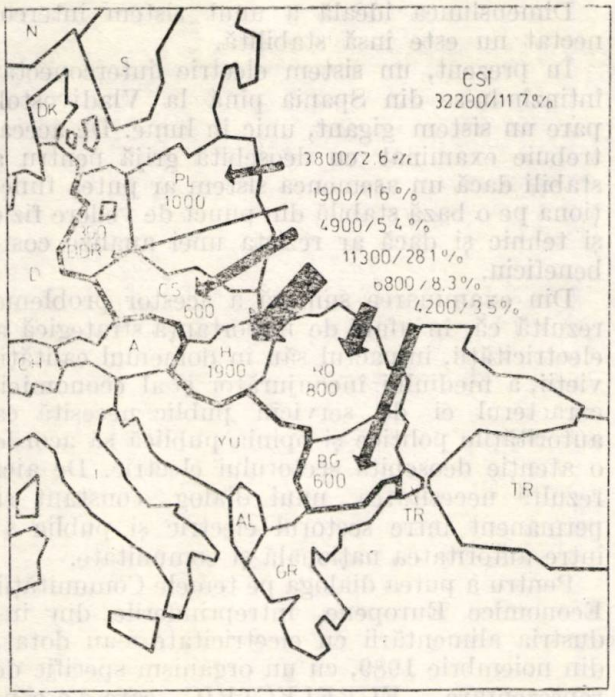


Fig. 7.Transportul de energie electrică în sistemul est-european în 1988: energia electrică transmisă, în GWh/procent din energia consumată anual; puterea maximă contractată, în MW.

Dintre diferenţele existente între cele două sisteme interconectate se remarcă următoarele:

— Situaţia diferită a capacităţii de rezervă. Deşi regiunea deservită de sistemul interconectat din cadrul CAER reprezintă circa 2/3 din suprafaţă şi aproximativ jumătate din populaţie, sarcina maximă anuală reprezenta circa 71% din capacitatea instalată faţă de 59% în sistemul UCPTE.

În acelaşi timp, cele două sisteme interconectate au sisteme diferite de control al frecvenţei, precondiţie pentru aceasta fiind capacitatea de rezervă suficient de rapidă care trebuie să fie la îndemînă.

În ultimii ani menţinerea frecvenţei în Sistemele Energetice Interconectate din cadrul fostului CAER s-a îmbunătăţit substanţial, atît datorită unor măsuri ce au fost luate, cît şi datorită unei sporiri a rezervelor rezultate dintr-un consum industrial mai scăzut.

Unele diferenţe apar în structura de generare. Dacă în sistemul vest-european aproximativ 40% din energia electrică este generată în centrale electrice cu combustibil convenţional şi respectiv nuclear, iar 20% în centrale hidroelectrice, în sistemul est-european, aproximativ 70% din energia electrică este generată în centrale electrice cu combustibil convenţional, 15% în centrale nucleare şi 5% în centrale hidroelectrice, aceste ultime categorii neputînd juca un rol major în generarea energiei electrice.

În ceea ce priveşte capacitatea de transfer de sarcină a liniilor interconectate, deşi cele două sisteme interconectate dovedesc de departe multe similitudini, există totuşi unele diferenţe în ceea ce priveşte capacitatea redusă de folosire a liniilor de interconexiune din SEI (la circa jumătate) în timpul operării normale, ca urmare a generării energiei electrice cu combustibili convenţionali, pentru a evita pericolul de suprasarcină în cazul unor avarii. De asemenea, datorită lipsei sale de capacitate de rezervă reţeaua fostei Uniuni Sovietice are un număr de legături de secţionare predeterminate pentru protejarea propriei reţele. Acestea însă în prezent sînt de mică importanţă datorită consumului descrescător de electricitate în sistemul est-european.

Datorită acestor diferenţe tehnologice şi a celor din concepţia de conducere a acestor două mari sisteme de reţele din Europa, nu apare ca realizabilă, pe termen scurt, funcţionarea interconectată sincron a acestora.

În această etapă, însă, ca urmare a schimbărilor politice de la sfîrşitul deceniului opt, în ţările membre CAER au fost reconsiderate radical relaţiile economice Est-Vest. În acest cadru UNIPEDE şi UCPTE, împuternicite de Comunitatea Europeană să acţioneze ca organisme de specialitate ale acesteia, au iniţiat un proces complex de studiere a posibilităţilor de dezvoltare a schimburilor de energie electrică.

Cooperarea între cele două sisteme implică în prezent numai conexiuni asincrone.

În afara liniei de transport (HVDC) între cele două sisteme, pusă în funcţiune în 1983, între Dürnohr din Austria şi reţeaua cehă, mai există cîteva legături de înaltă tensiune din Grecia către Bulgaria, din Austria către Ungaria şi respectiv Ceho-Slovacia, din fosta Iugoslavie către Ungaria, către România şi respectiv către Bulgaria.

În toamna anului 1989 a fost pusă în funcţiune linia de înaltă tensiune Helmstedt-Wolmirstedt ca legătură între reţeaua Germaniei de Vest şi Germaniei de Est.

Problemele care apar ca urmare a intensificării schimburilor energetice din Europa nu pot fi subestimate.

Acestea pot fi bine ilustrate cu privire la livrarea în lunile ianuarie şi februarie 1990 a 400 MW din fosta Germanie de Vest către România (vezi fig. 5).

Funcţionarea paralelă de tip sincron a reţelelor naţionale sau chiar a întregului sistem interconectat est-european este diferită pe termen scurt sau mediu. Astfel, datorită motivelor politice, tehnice şi economice reţeaua electrică din fosta RDG se apreciază că va putea fi încorporată în cadrul sistemului UCPTE în anul 1993. Prin aceasta se va crea baza pentru utilizarea liniilor de înaltă tensiune spre Polonia şi Ceho-Slovacia în acelaşi scop.

În prezent însă, activităţile se vor focaliza pe conexiuni de extindere asincronă în scopul de a promova schimbul.

Un exemplu îl constituie construirea legăturii de reţea între Etzenricht în Bavaria şi Hradec în Ceho-Slovacia, programată să înceapă la finele anului 1992. De asemenea, o linie de 550 MW este în curs de realizare între Austria şi Ungaria, aceasta însemnînd că în 1993 trei linii de înaltă tensiune (HVDC) vor reprezenta legături din Bavaria şi Austria către sistemul est-european.

În ceea ce priveşte Sistemul Energetic Naţional al României, RENEL a arătat condiţiile favorabile care îi vor permite ca în anii 1994—1995 să poată funcţiona în paralel cu sistemul UCPTE, şi anume:

— criteriile de proiectare a SEN — România sînt similare celor aplicate în cadrul sistemului UCPTE;

— SEN — România dispune de capacităţi importante de schimb şi de producţie a energiei electrice, în raport cu consumul. Pentru eliminarea actualelor indisponibilităţi şi realizarea rezervelor de balanţă corespunzătoare, este demarat un program de retehnologizare şi de trecere pe alţi combustibili, cu asistenţă din partea unor firme de prestigiu;

— în anul 1993 urmează să fie dat în exploatare un sistem modern de reglare a frecvenţei şi puterii de schimb la nivelul exigenţelor UCPTE;

— RENEL a întreprins demersurile necesare pentru iniţierea unor studii comune cu JUGEL, singurul sistem energetic vecin membru al UCPTE, dar începerea efectivă a lucrărilor este întîrziată din cauza evenimentelor din fosta Iugoslavie.

Lucrările din instalaţiile RENEL, care condiţionează interconectarea Sistemului Energetic Naţional al României cu sistemul UCPTE au fost demarate şi sînt în curs de execuţie.

În aceste condiţii apreciem că încorporarea României, Ungariei, Ceho-Slovaciei şi Poloniei, precum şi a statelor baltice în sistemul interconectat vest-european UCPTE ar putea fi fezabilă în anul 1995.

Tehnologia îmbunătăţită a transportului de energie electrică şi diferenţa de fus orar sînt cert în favoarea unui sistem interconectat cît mai larg. Prin aceasta ar putea fi coordonată producţia de energie electrică, şi anume: pe ce combustibili ar fi acoperit vîrful de sarcină al unor ţări prin producţia din golul de sarcină al altor ţări, reducerea eforturilor pentru dezvoltare şi alte avantaje. În acest context ar trebui subliniat că pe teritoriul Statelor Unite există două sisteme interconectate de frecvenţă diferită, care sînt legate unul de celălalt prin intermediul liniilor de înaltă tensiune (HVDC).

Dimensiunea ideală a unui sistem interconectat nu este însă stabilită.

În prezent, un sistem electric interconectat întinzîndu-se din Spania pînă la Vladivostok pare un sistem gigant, unic în lume. De aceea, trebuie examinat cu deosebită grijă pentru a stabili dacă un asemenea sistem ar putea funcţiona pe o bază stabilă din punct de vedere fizic şi tehnic şi dacă ar rezista unei analize cost-beneficiu.

Din examinarea sumară a acestor probleme rezultă că, în afară de importanţa strategică a electricităţii, impactul său în domeniul calităţii vieţii, a mediului înconjurător şi al economiei, caracterul ei de serviciu public necesită ca autorităţile politice şi opinia publică să acorde o atenţie deosebită sectorului electric. De aici rezultă necesitatea unui dialog constant şi permanent între sectorul electric şi public şi între autoritatea naţională şi comunitate.

Pentru a putea dialoga pe temele Comunităţii Economice Europene, întreprinderile din industria alimentării cu electricitate s-au dotat, din noiembrie 1989, cu un organism specific de reprezentare — EURELECTRIC — care s-a constituit recent în Grupul European de Interes Economic — GEIE.

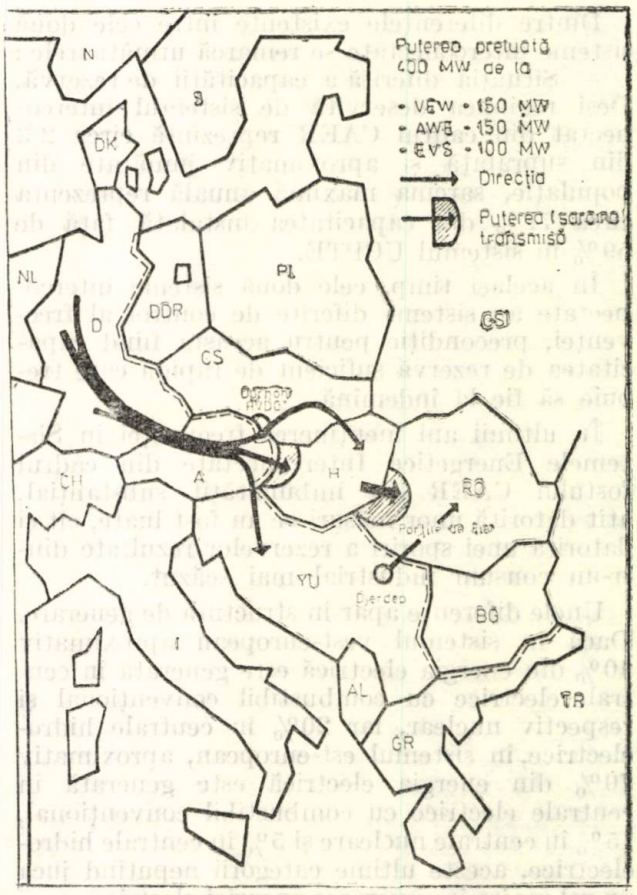


Fig. 8. Dificultăţile în schimbul de putere cu Europa de Est care a fost demonstrat în livrarea a 400 MW din Germania de Vest către România în ianuarie — februarie 1990.

Formarea EURELECTRIC corespunde preocupării de a aduce o contribuţie semnificativă la realizarea unui „spaţiu unic european al energiei" şi la dezvoltarea sistemului electric al Comunităţii, ţinînd cont, pe de o parte, de responsabilităţile sectorului şi, pe de altă parte, de interesul tuturor cetăţenilor.

EURELECTRIC înţelege deci să acţioneze în acest sens în favoarea stimulării colaborării dintre întreprinderile din sectorul electric şi între acestea şi ceilalţi operatori energetici, respectiv alte forme de energie, în vederea atingerii obiectivelor dezvoltării Comunităţii şi chiar a anticipării lor în industria alimentării cu electricitate.

Deşi EURELECTRIC este un organism care reprezintă interesele colective ale întreprinderilor, avînd drept activitate principală producţia, transportul şi distribuţia energiei electrice din ţările Comunităţii Economice Europene, în relaţiile acestora cu autorităţile comunitare, ţinînd cont de configuraţia reţelelor electrice europene, de interdependenţa în creştere a sistemelor electrice şi faţă de mediul înconjurător, iniţiativele şi luările de poziţie ale EURELECTRIC cuprind, de asemenea, ansamblul întreprinderilor de electricitate din Europa, dincolo de frontierele Comunităţii.

Prin cele trei secţiuni constituite la nivel EURELECTRIC, şi anume:

— secţiunea energie (SEN);

— secţiunea piaţa internă, concurenţa, politica industrială şi economică (SIE);

— secţiunea mediu înconjurător, cercetare şi afaceri sociale (SER), se urmăreşte asigurarea unui dialog la un înalt nivel tehnic la care sînt invitate şi ţările din Europa Centrală şi de Est şi care vizează probleme legate de structurile şi planificarea sistemelor electrice, funcţionarea lor economică, constrîngerile externe ale sistemelor electrice şi altele.

Aceste orientări care vizează armonizarea politicii energetice şi de mediu între diferite state sau regiuni, a condiţiilor de dezvoltare şi de competitivitate ale întreprinderilor de electricitate în scopul de a le permite să ofere servicii tot mai bune şi de calitate egală tuturor cetăţenilor, precum şi optimizarea şi dezvoltarea sectorului electric european privind respectarea mediului înconjurător s-au tradus deja prin unele acţiuni concrete printre care:

— adaptarea unui cod de comportare în materie de mediu înconjurător;

— elaborarea unui ghid pentru utilizarea raţională a energiei electrice;

— perfecţionarea unei proceduri tehnico-operaţională şi a sistemelor informatice pentru a facilita schimburile între graniţe;

— constituirea de grupuri de lucru şi de studii pentru dezvoltarea relaţiilor între sectorul electric al Comunităţii Economice Europene şi sistemele extracomunitare pentru determinarea acţiunilor simultane ale mai multor organisme în vederea îndeplinirii unei funcţii în domeniul cercetării şi dezvoltării în sfera energiei şi a mediului înconjurător

Prin acţiunea conjugată a tuturor acestor asociaţii şi uniuni internaţionale, a specialiştilor şi experţilor din companiile de electricitate din diferite ţări se va putea asigura o furnizare a energiei electrice ieftină, sigură, corespunzătoare şi compatibilă din punctul de vedere al mediului înconjurător şi se va putea răspunde la întrebarea, pe care unele companii şi-o pun din ce în ce mai des, dacă cooperarea intensă cu reţeaua interconectată est-europeană sau dacă integrarea ei într-un singur sistem interconectat este economică şi tehnic fezabilă sau este necesară şi cînd se va putea eventual realiza.

Avînd în vedere considerentele expuse se apreciază că funcţionarea unui sistem interconectat gigant de la Atlantic pînă la Urali sau chiar pînă la Pacific se va putea realiza, etapizat, la începutul secolului următor.

(Primit la 30 noiembrie 1992, acceptat la 1 februarie 1993)

Lucrarea descrie rezultatele obținute prin încercări experimentale de insularizare de sursa electrică proprie a consumatorilor vitali din sistemul energetic al combinatului siderurgic Hunedoara.

Aceste rezultate sînt comparate cu cele determinate prin simulare numerică.

Programele de calcul elaborate fiind astfel validate devin instrumente utile în analiza și optimizarea regimurilor de funcționare ale sistemului de putere local.

Experiment și simularea numerică de insularizare în sistemul electroenergetic a combinatului siderurgic Hunedoara

Ș. l. dr. ing. FLAVIUS DAN ȘURIANU *

The paper gives full details of the results obtained by means of the experimental tests by islanding the vital consumers within the energy system of Hunedoara Iron Works from the own electric source.

These results are compared to those ones obtained by digital simulation.

The drawn up computation programs being validated, they become useful means for the analysis and optimization of the local power system operating regimes.

Descriptori : sistem electroenergetic, insularizare, simulare numerică, siderurgie

Introducere

Continuitatea în alimentare cu energie electrică a marilor consumatori industriali ridică probleme multiple și complexe, mai ales în condițiile producerii unor perturbații în sistemul electroenergetic (SEE), cînd se impune funcționarea lor insulară, cu ajutorul surselor proprii de energie electrică.

În aceste situații, atingerea regimului staționar al microsistemului format în urma insularizării se face prin parcurgerea unui proces tranzitoriu, care ridică probleme de stabilitate, atît la primele oscilații ale mărimilor electromagnetice și termomecanice ale surselor de alimentare, cît și pe o durată mai lungă de timp, de ordinul zecilor de secunde, în condițiile unor performanțe mai reduse ale echipamentelor de reglare și protecție aflate în dotarea centralelor electrice proprii. De aceea, cunoașterea comportării centralelor proprii în aceste condiții și întocmirea unor programe de simulare numerică corespunzătoare prezintă o importanță deosebită în optimizarea regimurilor de funcționare, acordarea reglajelor și găsirea unor soluții adecvate de salvare.

Lucrarea prezintă rezultatele experimentale obținute prin insularizare, pe centrala proprie, a unei microzone din cadrul sistemului electroenergetic al Combinatului Siderurgic Hunedoara, rezultate comparate apoi cu cele ale unei simulări numerice, realizate cu ajutorul unui algoritm și program de calcul întocmite de autor în acest scop. Ea constituie sinteza unei activități de cercetare desfășurată pe parcursul a doi ani și materializată prin programul de calcul LOTES, care permite stabilirea regimurilor de funcționare ale unui microsistem energetic propriu, precum și studiul optimizării extinderilor acestuia.

1. Descrierea microzonei studiate

Sistemul energetic al Combinatului Siderurgic Hunedoara (SE — CSH) este un sistem electric complex, funcționînd pe cinci niveluri de tensiune (220 kV ; 110 kV, 35 kV ; 6kV și 0,4 kV), cu o densitate mare a rețelei de 6 kV și cu un mare număr de consumatori de o mare varietate de tipuri. SE — CSH conservă struc-

* Catedra de Electroenergetică a Facultății de Electrotehnică din Universitatea Tehnică din Timișoara.

tura generală a sistemelor electrice ale unităţilor siderurgice, fiind axat pe principiul siguranţei mărite în funcţionare, realizată prin dubla alimentare a staţiilor de interconexiune şi distribuţie şi existenţa a două surse proprii (CET—2 şi CET—3), capabile să acopere puterea necesară consumatorilor vitali în cazul unei avarii cu desprinderea totală de Sistemul Energetic Naţional.

Consumatorii vitali, concentraţi în jurul staţiei de producere şi consum (SPC) sînt alimentaţi la medie tensiune de pe un sistem triplu de bare colectoare racordate la cele două centrale electrice proprii şi la Sistemul Energetic Naţional (fig. 1). În regim normal de funcţionare majoritatea consumatorilor vitali sînt alimentaţi de pe bara I a staţiei SPC, interconectată cu bara III prin cupla transversală închisă, injecţia de putere realizîndu-se de la Sistemul Energetic Naţional racordat la bara III şi de la centrala termoelectrică proprie, CET—2, racordată la bara I. Cupla longitudinală dintre bara I şi II fiind deschisă, consumatorii de pe bara II sînt alimentaţi separat, pe o altă cale, de la Sistemul Energetic Naţional şi de la o centrală proprie, CET—3. Microzona luată în studiu pentru prezenta cercetare este constituită din ansamblul barelor I şi III ale staţiei SPC împreună cu consumatorii vitali.

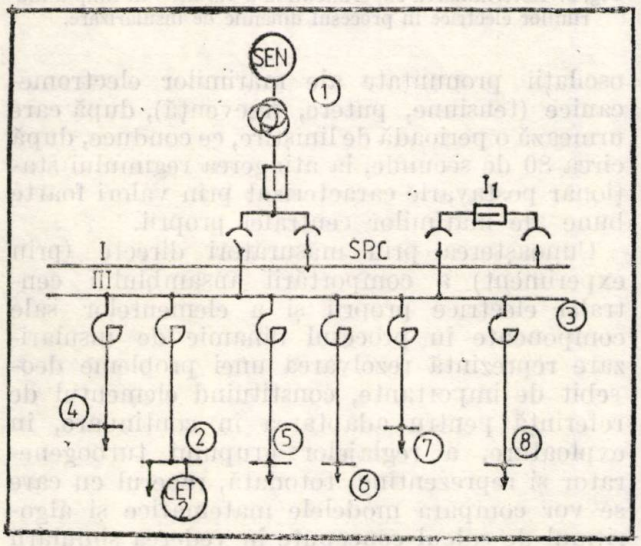


Fig. 1. Schema electrică simplificată a microzonei studiate.

În cazul unei avarii în Sistemul Energetic Naţional sau pe linia de interconexiune a acestuia cu SE—CSH, prin deschiderea întrerupătorului cuplei transversale dintre barele I şi III ale staţiei SPC se realizează insularizarea microzonei ai cărei consumatori vitali vor funcţiona pe baza energiei electrice furnizate numai de turbogeneratorul centralei electrice proprii, CET—2.

Deschiderea întrerupătorului cuplei transversale determină un proces tranzitoriu al ansamblului centralei CET—2, care poate conduce la declanşarea turbogeneratorului fie la suprasarcină, fie la suprasaturaţie . Acest motiv impune necesitatea cunoaşterii comportării de ansamblu a centralei CET—2 în procese tranzitorii de durată (de ordinul zecilor de secunde sau chiar al minutelor) generate de diferite valori ale puterii tranzitate prin cupla transversală în regimurile staţionare anteavarie.

Analiza comportării tranzitorii a centralei electrice CET—2 poate fi realizată prin simulare numerică, dar corectitudinea modelelor matematice şi certitudinea rezultatelor nu poate fi validată decît prin comparaţie cu rezultatele obţinute experimental, printr-un proces real de insularizare.

2. Realizarea experimentului de insularizare

Pentru realizarea experimentului de insularizare s-a impus rezolvarea următoarelor probleme: stabilirea regimului staţionar anteavarie şi a puterii tranzitate prin cupla de transfer, alegerea aparatajului de măsură şi conectarea acestuia, efectuarea propriu-zisă a experimentului cu înregistrarea variaţiilor în timp a principalelor mărimi electromagnetice şi termomecanice şi repunerea în paralel a turbogeneratorului centralei electrice CET—2 cu Sistemul Energetic Naţional, în cazul reuşitei procesului tranzitoriu de insularizare.

Regimul staţionar anteavarie s-a realizat astfel încît microzona studiată să beneficieze de un surplus de putere generală de 0,23 u.r. (unităţi relative), putere care este tranzitată către Sistemul Energetic Naţional prin staţia de interconexiune. Tensiunile şi puterile din nodurile microzonei în regim staţionar anteavarie, obţinute prin citiri directe cu două minute înaintea momentului insularizării, sînt date în tabelul 1 şi exprimate în unităţi relative.

Pentru culegerea şi înregistrarea variabilelor în timp a mărimilor electromagnetice ale generatorului sincron din centrala proprie CET—2, în timpul procesului tranzitoriu de insularizare s-au folosit instrumente înregistratoare de tip VAREG, pentru tensiunea la bornele generatorului, şi WATTREG, pentru puterea la bornele generatorului. Pentru înregistrarea mărimilor termomecanice şi a frecvenţei în microzonă s-au utilizat instrumentele înregistratoare de tablou, aflate pe panourile camerei de comandă a centralei.

Prin comanda de declanşare a întrerupătorului II al cuplei transversale (vezi figura 1) s-a produs separarea microzonei SPC—bara I de Sistemul Energetic Naţional, microzona devenind o insulă generatoare, centrala pro-

Tabel 1

Tensiuni și puteri în noduri în regim staționar

Număr nod	Tensiune [u.r.]	Putere activă [u.r]		Putere reactivă [u.r.]	
		generată	consumată	generată	consumată
1	0,982	—	0,23	—	—1,105
2	0,984	0,992	0,16	0,204	0,134
3	0,978	—	—	—	—
4	0,971	—	0,14	—	0,105
5	0,976	—	0,04	—	0,0194
6	0,969	—	0,13	—	0,0806
7	0,967	—	0,15	—	0,064
8	0,972	—	0,10	—	0,075

prie fiind încărcată cu un surplus de putere activă de 0,23 u.r. Fenomenele tranzitorii au fost urmărite pe un interval de timp de 98 de secunde (1 minut și 38 secunde), cînd s-a considerat că s-a atins regimul staționar postavarie al insulei și s-a trecut la manevra de repunere în paralel a grupului turbogenerator propriu cu Sistemul Energetic Național.

Înregistrarea dinamicii mărimilor electrice, mecanice și termice (tensiunea la borne U_b, puterea activă debitată pe bara centralei, P, frecvenței, f, debitului, Q, și a presiunii aburului, p_t, la intrarea în corpul de înaltă presiune al turbinei), reprezentată în graficele din figurile 2 și 3, demonstrează o bună comportare a ansamblului cazan-turbină-generator sincron și a sistemelor de reglare, atît pe partea primară (presiune), cît și pe partea secundară (reglarea tensiunii și a vitezei grupului). Analiza dinamicii procesului de insularizare arată că fenomenele tranzitorii au o durată mare, de aproximativ 40—50 de secunde, manifestîndu-se prin trei

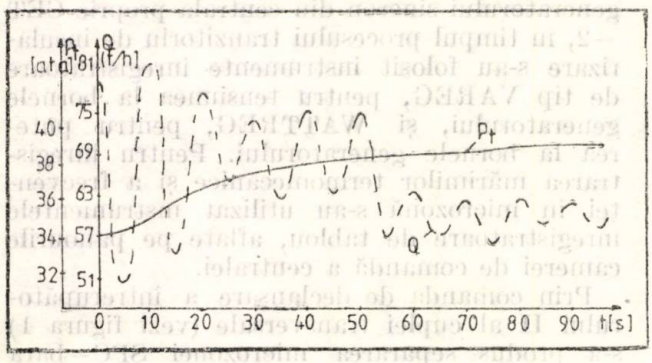


Fig. 2. Determinarea experimentală a variației în timp a mărimilor termodinamice în procesul de insularizare.

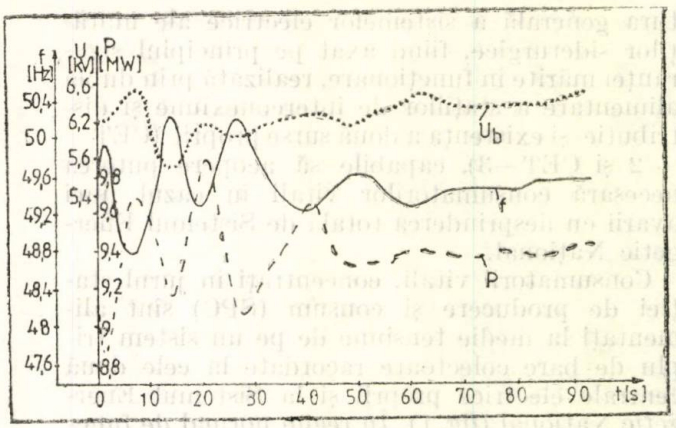


Fig. 3. Determinarea experimentală a variației în timp a mărimilor electrice în procesul dinamic de insularizare.

oscilații pronunțate ale mărimilor electromecanice (tensiune, putere, frecvență), după care urmează o perioadă de liniștire, ce conduce, după circa 80 de secunde, la atingerea regimului staționar postavarie caracterizat prin valori foarte bune ale mărimilor centralei proprii.

Cunoașterea prin măsurători directe (prin experiment) a comportării ansamblului centralei electrice proprii și a elementelor sale componente în procesul dinamic de insularizare reprezintă rezolvarea unei probleme deosebit de importante, constituind elementul de referință pentru adaptarea în continuare, în exploatare, a reglajelor grupului turbogenerator și reprezentînd, totodată, reperul cu care se vor compara modelele matematice și algoritmul de calcul concepute în vederea simulării numerice a dinamicii de insularizare.

3. Simularea numerică a procesului dinamic de insularizare

Rezultatele experimentale obținute în procesul de insularizare a microzonei au arătat că evoluția fenomenelor termomecanice ale centralei electrice proprii poate fi încadrată în problematica dinamicii pe termen mediu [1] și chiar pe termen lung [2] a sistemelor electroenergetice. De aceea, în conceperea modelelor matematice, a algoritmului și programului de calcul pentru simularea numerică a dinamicii centralei electrice s-a ținut seama de unele ipoteze ale unor astfel de dinamici cu privire la calculul frecvenței în microzonă, adaptarea pașilor de calcul și a valorii de incrementare a timpului de calcul, extinderea modelizării matematice la instalațiile primare, modificarea parametrilor respectivi ai rețelei electrice cu frecvența și durata totală a timpului de analiză.

Modelele matematice ale elementelor de sistem, de la instalațiile primare la consumatori (cazan, turbină, element de reglare, primară, generator sincron, SRAE — RAT și SRAV, re-

țeaua electrică și consumatorii) utilizate la simularea numerică au fost descrise în [1].

Deoarece în procesele dinamice, fenomenele electromagnetice au o evoluție rapidă în timp față de fenomenele termomecanice, în cadrul algoritmului de calcul a fost necesară rezolvarea problemei acordării modelelor matematice ale generatorului sincron și sistemelor sale de reglare cu modelele matematice ale instalațiilor primare. Aceasta s-a realizat prin utilizarea a doi pași de timp diferiți pentru incrementarea timpului de calcul, metoda de calcul utilizată fiind metoda clasică „pas cu pas". Astfel, pentru integrarea ecuațiilor diferențiale ale mărimilor electromagnetice rapide s-a folosit un pas mic de timp, DTG = 0,1 secunde, iar pentru integrarea ecuațiilor diferențiale ale mărimilor termomecanice lente s-a utilizat un pas mare de timp, DT = 1 secundă. În procesul de calcul, după parcurgerea unui număr de $n = 10$ pași mici de timp se atinge un pas mare de timp, mărimile electrice și mecanice obținute (tensiune, putere, frecvență) devenind mărimile de intrare pentru pasul următor de calcul al mărimilor termomecanice. Deși prin aceasta se mărește timpul de calcul, simularea crește în precizie datorită posibilității unor reprezentări matematice la fel de detaliate, atît pentru instalațiile termomecanice, cît și pentru generatorul sincron, sistemele sale de reglare și rețeaua electrică.

Programul de calcul LOTES, scris în limbaj FORTRAN 77, permite analiza dinamicii unor sisteme energetice cu maxim 50 de noduri și 5 noduri generatoare, urmărindu-se evoluția în timp pe un interval de 200 de secunde, de la momentul apariției primei perturbații. Sînt posibile scenarii cu maximum 10 perturbații tipice prestabilite (scurtcircuite simetrice și nesimetrice, întreruperi de linii, deconectări de surse și de consumatori). Datele care se introduc în program sînt relativ puține, se referă în special la date de catalog sau la parametrii nominali și în cea mai mare parte nu necesită o prelucrare anterioară.

Pentru simularea numerică a procesului de insularizare a microzonei studiate s-a luat ca bază de date situația reală din sistemul energetic local în momentul efectuării experimentului de insularizare. Datele de intrare pentru programul de calcul LOTES au fost parametrii reali ai rețelei electrice a microzonei, tensiunile și puterile măsurate în noduri înaintea momentului declanșării cuplei transversale dintre barele I și III, mărimile termomecanice (presiune, debit abur) înregistrate în momentul anterior perturbației și datele de catalog ale tuturor elementelor de sistem.

Simularea numerică a cuprins toate fazele procesului de insularizare, de la stabilirea regimului staționar anteperturbație (prin realizarea circulației de puteri în regim staționar inițial) pînă la atingerea regimului stabilizat postavarie, al insulei. Momentul declanșării cuplei transversale I — III a fost simulat printr-un scenariu de întrerupere a laturii 1—3 din cadrul schemei electrice a microzonei (vezi figura 1). Fenomenele dinamice ale procesului de insularizare au fost urmărite pe un interval de timp de 120 secunde. Rezultatele simulării, centralizate grafic prin curbele de oscilații ale principalelor mărimi electrice, mecanice și termice, sînt prezentate în figurile 4 și 5. În reprezentarea grafică a rezultatelor simulării numerice s-au folosit scări diferite pentru variabile, astfel încît pentru fiecare mărime să se realizeze simetrizarea valorilor sale extreme față de aceeași axă centrală a timpului.

Analiza rezultatelor simulării numerice în comparație cu cele obținute experimental arată o bună concordanță între modul de evoluție a proceselor tranzitorii simulate și reale. Se poate

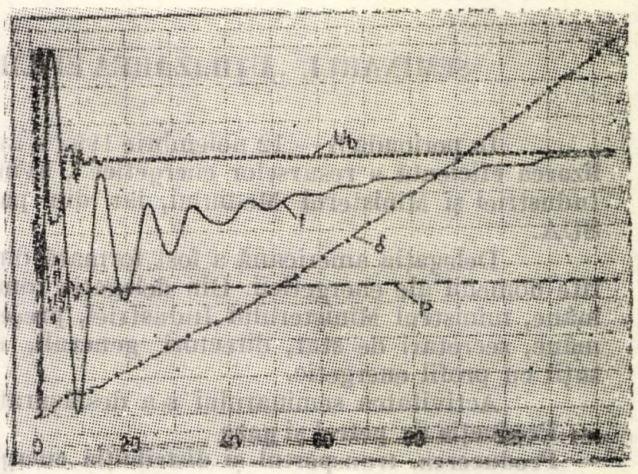


Fig. 4. Simularea numerică a variației în timp a mărimilor electrice în procesul dinamic de insularizare

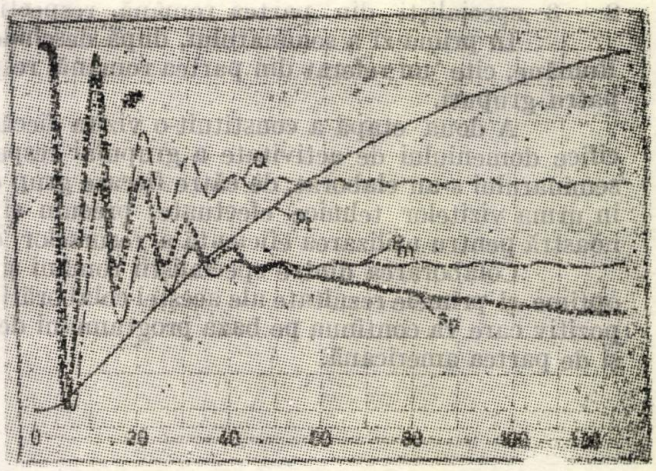


Fig. 5. Simularea numerică a variației în timp a mărimilor termomecanice în procesul dinamic de insularizare.

afirma că modelele matematice utilizate şi algoritmul de calcul adoptat reprezintă suficient de realist fenomenele fizice, atît în regim staţionar anteavarie, cît şi în procesul dinamic de insularizare. Această afirmaţie este cu atît mai întemeiată cu cît şi din punct de vedere valoric, rezultatele simulării numerice sînt foarte apropiate de cele obţinute pe cale experimentală (de exemplu, în regimul staţionar postavarie, eroarea tensiunii la borne este de 3% şi eroarea puterii generate este de 4,25% între valorile calculate şi cele măsurate).

Concluzii

Rezultatele obţinute prin simularea numerică a procesului dinamic de insularizare reprezintă o bună aproximare a realităţii fizice cunoscute pe cale experimentală. Validarea în acest sens a programului de calcul face ca acesta să devină un instrument util în studiile de stabilitate ale sistemului energetic local, în analiza şi optimizarea regimurilor de funcţionare şi acordarea reglajelor, precum şi pentru studii privind extinderea acestui sistem energetic.

BIBLIOGRAFIE

[1] Surianu, F. D. *Stimularea numerică a procesului de insularizare pe surse proprii a unei mari platforme industriale.* Simpozionul Naţional al Reţelelor Electrice vol. II, secţiunea II, pp. 210, 5—6 oct., 1988, Cluj.

(Primit la 21 iulie 1992, acceptat la 27 ianuarie 1993)

Manifestări tehnico-ştiinţifice

SEMINARUL „UTILIZAREA EFICIENTĂ A RESURSELOR ENERGETICE"

În perioada 8 — 12 noiembrie 1992 a avut loc seminarul româno-american cu tema „**Utilizarea eficientă a resurselor energetice**", avînd ca organizatori Academia Română, Ministerul Industriei şi Ministerul Mediului, iar din partea americană Academia Naţională de Ştiinţe a SUA.

Delegaţia americană a fost formată din 11 persoane, personalităţi recunoscute din diferite domenii ale energeticii. Din delegaţia română au făcut parte : preşedintele Academiei Române, ministrul Ministerului Industriei, preşedintele Comisiei de Energetică a Academiei Române, secretari de stat, directori generali, specialişti ale diferitelor departamente şi instituţii cu profil energetic.

Activitatea seminarului s-a desfăşurat pe patru grupe, şi anume :

— **Producţia de petrol şi gaze**
— **Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice**
— **Consumul industrial de energie**
— **Implicaţii socio-economice în utilizarea energiei în domeniul casnic**

Pentru fiecare domeniu s-au creat colective de lucru, din fiecare colectiv participînd 2 — 3 specialişti din partea română, respectiv americană.

În prima zi a seminarului, după deschiderea oficială, s-a prezentat, în aula Academiei Române, cîte un referat din partea română, respectiv din partea americană, pe fiecare din cele patru grupuri.

A doua etapă a constituit-o vizita fiecărui colectiv de lucru la unităţi industriale specifice domeniului de activitate a grupului respectiv (timp de trei zile). În ultima etapă a seminarului s-au elaborat, de către fiecare grup de lucru, rapoarte privind constatările rezultate în urma vizitelor tehnice efectuate, precum şi concluziile ce se impun a fi aplicate în ţara noastră pentru utilizarea eficientă a resurselor energetice.

Colaborarea dintre specialiştii români şi specialiştii americani s-a desfăşurat în condiţii optime şi primele rezultate ale acestei colaborări sînt deosebit de promiţătoare. Este un început pozitiv care va continua pe baza programului de colaborare stabilit în comun, de partea română şi de partea americană.

Prof. dr. ing. GLEB DRĂGAN

membru corespondent al Academiei Române,
preşedintele Comisiei de Energetică a Academiei Române

Aspecte, precizări şi comentarii privind calculul de dimensionare a filtrelor de absorbţie de armonici superioare în condiţiile nedepăşirii sarcinilor admisibile în regim de durată a condensatoarelor

Ing. ROMULUS SFICHI*

Lucrarea prezintă o metodologie de dimensionare locală a filtrelor de absorbţie utilizate în tehnica limitării efectelor nocive ale regimului deformant în reţelele electrice pe criteriul nedepăşirii sarcinilor admisibile în regim de durată a condensatoarelor din componenţa filtrelor.

Se au în vedere prescripţiile, normativele şi standardele româneşti privind performanţele condensatoarelor şi restricţiile ce trebuie îndeplinite, din care rezultă relaţii de calcul pentru dimensionare sau verificare.

The paper presents a local sizing method of absorbing filters used for decreasing detrimental effects of the distorting conditions within electrical networks based on not surpassing the admissible loads during condensers term operation.

The author takes into account the Romanian specifications, norms and standards concerning the condenser performances and the restrictions to be respected, having as a result several computing relations for sizing and testing.

Descriptori: filtru de absorbţie, armonici superioare, condensatoare, sisteme electroenergetice

Aspecte generale

Problemele compensării puterii reactive şi ale regimului deformant implică, în cele mai multe cazuri practice, o soluţionare corelată.

Rezolvarea concomitentă, optimă, a celor două probleme este posibilă; la aceasta se adaugă rezolvarea a încă altor două probleme importante pentru instalaţiile energetice: reducerea şocurilor de putere reactivă şi a gradului de nesimetrie [1, 6, 14].

În cele ce urmează vom încerca să sistematizăm metodologia de calcul pentru rezolvarea simultană a primelor două probleme pe criteriul nedepăşirii sarcinilor admisibile în regim de durată a condensatoarelor, utilizînd filtre absorbante (trece-bandă) ale armonicilor superioare şi făcînd precizările şi comentariile necesare.

1. Filtre absorbante de armonici superioare. Caracteristica de frecvenţă

Faţă de dificultăţile pe care le creează în funcţionarea instalaţiilor electroenergetice armonicile de rang superior (regimul deformant), se caută ca prin adoptarea unor măsuri corespunzătoare, pe de o parte acestea să fie reţinute pe cît posibil la locul de producere şi, pe de altă parte, dacă circulă şi prin anumite linii şi staţii din sistemul energetic, valorile lor să fie cît mai reduse.

Principala măsură care se adoptă astăzi constă în prevederea de filtre la barele la care se exploatează şi consumatorii deformanţi producători de armonici superioare de curent, pentru a le reţine.

În prezent se folosesc prioritar filtrele de absorbţie (absorbante sau trece-bandă), care au proprietatea de a proteja de efectele armonicilor, atît instalaţiile industriale, cît şi reţeaua de alimentare. În principiu filtrele de absorbţie se realizează sub forma simplă a unor scheme constituite din bobine şi condensatoare dispuse în ramuri rezonante serie, conectate în paralel la reţea (fig. 1).

Parametrii filtrului (C şi L) sînt astfel dimensionaţi încît circuitul filtrant să prezinte o rezonanţă serie pentru una din armonicile cu nivelul cel mai mare din spectru şi apoi, dacă nu se obţine coeficientul de distorsiune al tensiunii sub cel limită maxim admis, se adaugă în paralel alte circuite rezonante acordate pe

* Filiala de Reţele Electrice Suceava

frecvenţele armonicilor cu rangul crescător, funcţie de nivelul acestora în raport cu frecvenţa fundamentală (50 Hz).

Ca urmare, fiecare circuit rezonant va absorbi în întregime curentul armonic pe care a fost

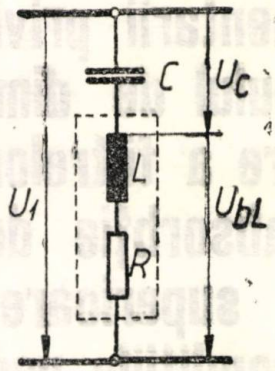


Fig. 1. Schema electrică echivalentă a filtrului de absorbţie

acordat şi va absorbi în proporţie mai redusă curenţii armonici cu frecvenţe apropiate acesteia.

În consecinţă filtrele cu efect de absorbţie apar în schema reţelei ca scurtcircuite pentru curenţii pe frecvenţa cărora sînt acordate. Într-adevăr, modulul impedanţei pe o fază a unui filtru trifazat simetric (fig. 2) pentru armonica cu rangul (ordinul) $k > 1$, este

$$Z_{k_{min}} = R_k, \quad \text{dacă} \quad X_{Lk} - X_{Ck} = 0,$$

adică:

$$k\omega_1 L - \frac{1}{k\omega_1 C} = 0, \qquad (1)$$

în care prin ω_1 s-a notat pulsaţia armonicii de primul rang (pulsaţia fundamentalei).

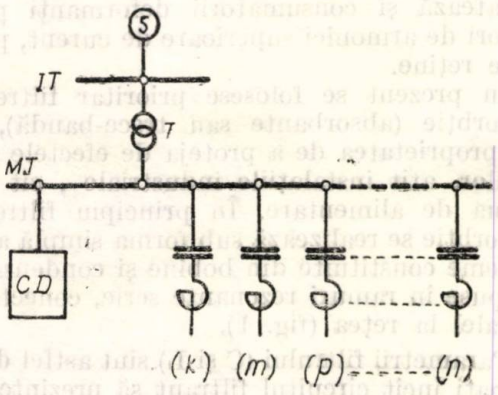


Fig. 2. Schema de principiu a unui filtru de absorbţie: *CD* — consumator deformant; *k*, *m*, *p*, ..., *n* — rangul armonicilor pe care sînt acordate circuitele filtrante.

Rezistenţa electrică echivalentă a filtrului R_k este compusă din rezistenţa condensatorului (care provine din pierderile în dielectric), rezistenţa bobinei şi rezistenţa conductoarelor de conexiune şi are o valoare foarte redusă (neglijabilă ca mărime). Astfel, la rezonanţa, exprimată prin (1), $R_k \approx 0$, $Z_{k_{min}} \simeq 0$, filtrul lucrează practic ca un scurtcircuit.

Fiind însă racordat la bare, la care sînt prezente de regulă şi alte armonici cu frecvenţe mai mari sau mai mici decît frecvenţa armonicii de rang k, printre care şi fundamentala, filtrul se comportă diferenţiat faţă de acestea.

Astfel, pentru armonica cu rangul $k_1 \neq k$, în baza (1) rezultă că:

$$Z_{k_1} \neq Z_{k_{min}} = 0. \qquad (2)$$

Explicînd C din (1) şi introducînd valoarea obţinută în (2), rezultă:

$$Z_{k_1} = \omega_1 L\left(k_1 - \frac{k^2}{k_1}\right) \qquad (3)$$

Din (3) rezultă evident că dacă $k_1 < k$, $Z_{k_1} < 0$ şi ca urmare filtrul se comportă capacitiv.

Aşadar, pentru armonici de rang inferior rangului de rezonanţă şi deci şi pentru frecvenţa fundamentală ($k_1 = 1$), filtrul lucrează capacitiv:

$$Z_1 = \omega_1 L(1 - k^2) < 0, \quad k > 1. \qquad (4)$$

Dimpotrivă, pentru armonici cu rangul $k_1 > k$, $Z_{k_1} > 0$, iar filtrul se comportă inductiv, absorbind curent corespunzător armonicilor de rangul respectiv.

Concluzia ce se desprinde este aceea că pentru frecvenţa fundamentală ($k_1 = 1$) filtrul lucrează ca o capacitate electrică şi produce energie reactivă. Această concluzie rezultă şi mai evident dacă reprezentăm grafic funcţia:

$$X(\omega) = X_L(\omega) - X_C(\omega),$$

care defineşte caracteristica de frecvenţă a filtrului (fig. 3). De aici rezultă dublul rol al filtrului rezonant: diminuarea efectelor regimului deformant şi compensarea puterii şi energiei reactive inductive a receptoarelor inductive şi deformante.

Din cele prezentate pînă aici rezultă că bateriile de condensatoare din componenţa filtrelor de absorbţie se deosebesc puţin de bateriile de condensatoare energetice utilizate normal în reţea [8], prin rolul lor suplimentar faţă de acestea din urmă.

La construcţia condensatoarelor de acest tip pentru instalaţiile de filtrare trebuie să se ţină seama de sarcina mai ridicată la care sînt supuse faţă de utilizarea lor în mod obişnuit.

Cît privește bobinele de reactanță și acestea au un dublu rol :

— să formeze împreună cu bateriile de condensatoare circuite rezonante serie, acordate pe diverse frecvențe armonice predominante în spectrul curenților;

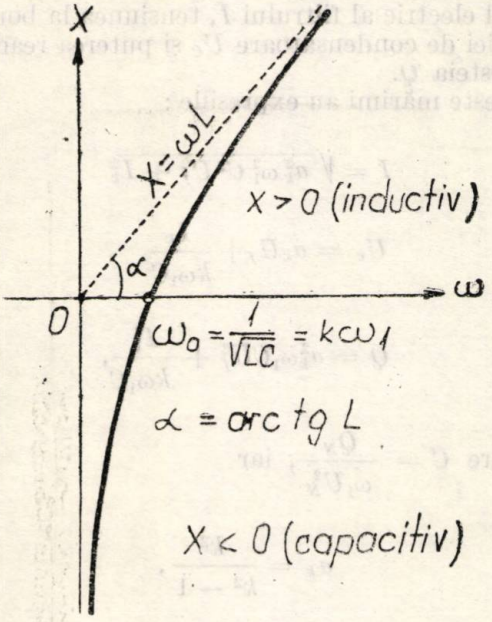


Fig. 3. Caracteristica de frecvență $X(\omega)$ a filtrului de absorbție

— să limiteze curentul de încărcare a bateriei în regimul tranzitoriu de conectare a acesteia la rețea.

Bobinele folosite la realizarea circuitelor de filtrare sînt de tipul în aer : acest tip prezintă avantajul că inductanța lor este independentă față de intensitatea curentului, suportînd în condiții bune curenții de scurtcircuit, chiar și pentru valori mici ale inductanței. Bobinele cu miez de fier, dar cu întrefier, s-au dovedit a fi și ele rentabile, mai ales atunci cînd sînt necesare reactanțe mari la curenți mici.

2. Ipoteze simplificatoare și criterii de dimensionare a parametrilor filtrelor de absorbție

Deoarece pînă în prezent nu s-au stabilit indici pentru aprecierea daunelor provocate în rețea de regimul deformant se consideră că acestea sînt neglijabile în situația în care se respectă două categorii de condiții tehnice [3, 9] :

— nedepășirea supraîncărcării admisibile în regim de durată a condensatoarelor cu care sînt echipate filtrele și care potrivit STAS 7083—71 sînt :

$$U_{max} = 1{,}1\ U_N;\quad I_{max} = 1{,}3\ I_N;\quad Q_{max} = 1{,}43\ Q_N,$$

în care U_N, I_N și Q_N sînt valorile nominale ale tensiunii, curentului și puterii bateriei de condensatoare;

— nedepășirea coeficientului de distorsiune a tensiunii pe barele de racordare a filtrelor

$$\delta_U = \frac{1}{U_1}\left(\sum_{k=2}^{n} U_k^2\right)^{1/2}, \qquad (5)$$

în care $R_d = \left(\sum_{k=2}^{n} U_k^2\right)^{1/2}$ reprezintă reziduul deformant al tensiunii, iar U_1—valoarea efectivă a tensiunii la frecvența fundamentală.

Primul criteriu îl vom retranscrie sub forma

$$U_{max} = \alpha U_N;\quad I_{max} = \beta I_N;\quad Q_{max} = \alpha\beta Q_N, \qquad (6)$$

în care : $\alpha = 1{,}1$, $\beta = 1{,}3$, iar $\alpha\beta = 1{,}43$.

În afara criteriilor de mai sus, în literatură [2, 4, 5, 6, 10, 11, 16] se întîlnesc și alte criterii de dimensionare, printre care și criteriul tehnico-economic de minimizare a costului total al bobinelor de reactanță și al condensatoarelor, dar și în aceste cazuri restricțiile (5) și (6) trebuie îndeplinite.

Ipotezele simplificatoare principale privind calculul de dimensionare a filtrelor de absorbție pe criterii tehnice se referă la neglijarea rezistenței electrice echivalente a filtrului în raport cu reactanța sa la calculul tensiunii, curentului și puterii reactive a bateriei de condensatoare din componența filtrului spre a putea verifica restricțiile (6) și la considerentul că factorul (coeficientul) de pierderi dielectrice $\mathrm{tg}\delta$ (tangenta unghiului de pierderi) este independent de frecvență în domeniul $k \in [1, 20]$.

Teoretic vorbind $k \in [0, \infty)$, dar practic spectrul de armonici superioare din sistemele energetice (inclusiv fundamentala) implică $k \in [1, 25]$ predominante fiind, în afara fundamentalei, armonicile de rang impar ($k = 5, 7, 11, 13$). Se neglijează, de asemenea, efectul pelicular și se precizează că rezistența R a filtrului nu se poate neglija la calcul factorului de calitate al acestuia

$$q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}};\quad Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}, \qquad (7)$$

în care Z_0 este impedanța caracteristică a circuitului rezonant.

Pe parcursul calculului de dimensionare a filtrelor se vor mai admite și alte ipoteze simplificatoare, de mai mică importanță, care se încadrează în limitele de aproximație ale calculelor tehnico-inginerești.

3. Calculul de dimensionare a filtrelor de absorbție

Datele necesare calculului de dimensionare a filtrelor de absorbție sînt:

— necesarul de putere reactivă a bateriei de condensatoare în vederea ridicării valorii factorului de putere de la cos φ_1 (factorul de putere natural) la factorul de putere îmbunătățit (de regulă factorul de putere neutral cos $\varphi_2 = 0{,}92$)

$$Q_t = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2), \tag{8}$$

în care P este puterea activă cerută de consumatorii deformanți (CD) și consumatorii nedeformanți (C) alimentați de pe aceeași bară;

— spectrul de curenți și tensiuni armonice rezultat din analiza armonică a oscilogramelor curenților și tensiunilor, precum și coeficientul de distorsiune a undelor de tensiune δ_U pe bara de alimentare a consumatorilor și la care se racordează și filtrele;

— tensiunea la frecvența fundamentală pe bara de racord U_f pe fază.

Necesitatea filtrelor cu rolul dublu (de compensare a puterii reactive și a regimului deformant) se impune dacă cos $\varphi_1 < 0{,}92$, iar $\delta_U > U_{U\,max}$ în care valorile $\delta_{U\,max}$ sînt normate prin [3].

Calculul filtrelor de absorbție se bazează pe cunoașterea teoretică și practică a fenomenului de rezonanță a tensiunilor (rezonanța serie) într-un circuit cu parametri concentrați RLC serie.

Admițînd că spectrul armonicilor de curent conține armonicile de rang $k, m, n, p, \ldots$ în ordine descrescătoare și care au niveluri ce impun filtrarea, în lucrare se va trata cazul armonicii de rang k, calculul circuitelor rezonante pentru celelalte armonici fiind analog.

Presupunem că pe circuitul rezonant acordat pe armonica de rangul k s-a repartizat puterea reactivă capacitivă Q_N și are tensiunea nominală U_N, astfel încît $I_N = Q_N/U_N$ (pe fază).

Scopul calculului este determinarea C, L, U_C, I și Q_C, adică determinarea parametrilor filtrului, a tensiunii la bornele bateriei, a curentului ce trece prin baterie și a puterii bateriei în situația de rezonanță a circuitului filtrant pe armonica de rangul k, astfel încît să putem face verificarea restricțiilor exprimate prin (5) și (6).

Pentru aceasta avem datele cunoscute:

— U_f — tensiunea pe fază a rețelei (barei de alimentare), în V sau kV;

— $\omega_1 = 2\pi f_1 = 100\pi$ rad/s — pulsația tensiunii și curentului la frecvența fundamentală;

— k și I_k — rangul armonicii și valoarea efectivă a curentului armonicii de acest rang.

La aceste date se adaugă condiția de rezonanță ce rezultă din (1) între reactanțele filtrului la frecvența fundamentală:

$$X_C = k^2 X_L. \tag{9}$$

Rezolvînd circuitul din figura 1 se obțin: curentul electric al filtrului I, tensiunea la bornele bateriei de condensatoare U_C și puterea reactivă a acesteia Q.

Aceste mărimi au expresiile:

$$I = \sqrt{a_k^2 \omega_1^2 C^2 U_f^2 + I_k^2} \tag{10}$$

$$U_c = a_k U_f + \frac{I_k}{k\omega_1 C} \tag{11}$$

$$Q = a_k^2 \omega_1 C U_f^2 + \frac{I_k^2}{k\omega_1 C}, \tag{12}$$

în care $C = \dfrac{Q_N}{\omega_1 U_N^2}$, iar

$$a_k = \frac{k^2}{k^2 - 1}, \tag{13}$$

reprezintă un coeficient de supratensiune supraunitar [16].

Expresia (11) s-a stabilit pentru cazul cel mai defavorabil, în sensul că armonica fundamentală a tensiunii și armonica tensiunii de de rangul k sînt simfazice. Rezultatul obținut exprimă faptul că tensiunea la bornele bateriei de condensatoare $U_C > U_f$, chiar dacă tensiunea armonică

$$U_{Ck} = \frac{I_k}{k\omega_1 C} \ll U_{C1} = a_k U_f,$$

deoarece $a_k > 1$.

Această concluzie dovedește că prin montarea bobinei de reactanță în serie cu bateria de condensatoare, în circuitul filtrant crește tensiunea la bornele bateriei față de tensiunea U_f a rețelei la care este conectat filtrul.

Ca o consecință a acestui lucru rezultă că dacă am considera:

$$U_C \approx U_{C1} = a_k U_f; \quad U_f = U_N,$$

prin aplicarea restricției (6_1) rezultă:

$$k \geqslant \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha - 1}},$$

iar pentru $\alpha = 1{,}1$, rangul armonicii $k \geqslant 3{,}31$, ceea ce înseamnă că se pot construi filtre de

acest gen de la rangul $k = 4$ în sus. Cele două comentarii prezentate duc la concluzia că de la început este indicat ca tensiunea nominală a bateriei de condensatoare să se adopte mai mare ca tensiunea nominală a rețelei cu 10% — 20% [6, 15] ceea ce corespunde cu (6_1) la limita inferioară.

Relația (12) care exprimă puterea reactivă totală a bateriei implică doi termeni. Primul termen reprezintă puterea reactivă furnizată de bateria de condensatoare, pe o fază, la frecvența fundamentală

$$Q_{C1} = a_k Q_1$$

în care Q_1 este puterea reactivă a filtrului pe o fază, la frecvența fundamentală.

Diferența $Q_{C1} - Q_1$ reprezintă puterea reactivă de magnetizare a bobinei.

Așadar $Q_{C1} > Q_1$, iar în situația în care $U_N = U_f$, rezultă că puterea reactivă de magnetizare a bobinei de reactanță

$$Q_{L1} = Q_{C1} - Q_1 = \frac{Q_{C1}}{k^2}.$$

Ultima relație dovedește că Q_{L1} este mult mai redusă decît Q_{C1} (de k^2 ori mai mică), ceea ce confirmă și pe această cale dublul rol pe care-l are filtrul.

Odată stabilite relațiile (10), (11) și (12) și ținînd seama de semnificația lor, se poate trece la determinarea parametrilor filtrului.

Utilizînd (11) și punînd condiția (6_1) pentru tensiunile pe fază:

$$U_C \leqslant \alpha U_f = U_{adm},$$

rezultă:

$$C = C_u \geqslant \frac{I_k}{k\omega_1(U_{adm} - a_k U_f)}. \qquad (14)$$

Punînd apoi condiția suplimentară ca pierderile dielectrice în bateria de condensatoare să nu depășească pe cele maxime admise

$$\Delta P_1 + \Delta P_k \leqslant \Delta P_{adm},$$

adică:

$$\omega_1 C U_{C1}^2 \operatorname{tg}\delta + \frac{I_k}{k\omega_1 C} \operatorname{tg}\delta \leqslant \omega_1 C U_{adm} \operatorname{tg}\delta,$$

rezultă:

$$C = C_i \geqslant \frac{I_k}{\omega_1 \sqrt{k(U_{adm}^2 - a_k^2 U_f^2)}} \qquad (15)$$

Se înțelege că din cele două valori exprimate prin (14) și (15) vom alege valoarea cea mai mare pentru C:

$$C = \max[C_u, C_i] \qquad (16)$$

În fine, inductanța bobinei filtrului rezultă din condiția de rezonanță (9):

$$L = \frac{1}{10^4 \pi^2 k^2 C}. \qquad (17)$$

Concluzii

În această lucrare autorul a încercat să sistematizeze metodologia calculului de dimensionare locală a filtrului de absorbție, aducînd o serie de precizări și făcînd unele comentarii utile personalului de proiectare și exploatare din sectorul energetic. Criteriul de dimensionare luat în considerare se referă la restricția nedepășirii sarcinilor admisibile în regim de durată a condensatoarelor în condițiile prescripțiilor și normativelor românești. Un exemplu de aplicație se prezintă în anexa 1.

ANEXA 1

APLICAȚIE

Se consideră un consumator cu $P = 7\,400$ kW, $U = 20$ kV, $\cos\varphi_1 = 0{,}8$, $\cos\varphi_2 = 0{,}92$, $f = 50$ Hz și $\delta_U > 4\%$.

Preponderentă este armonica de rangul $k = 5$, $I_5 = 16$ A.

Să se stabilească caracteristicile filtrului de absorbție necesar cu rol dublu: compensarea puterii reactive și atenuarea regimului deformant.

1. Puterea reactivă necesară rezultă prin aplicarea relației (8), $Q_t = 2{,}400$ kvar, astfel că puterea pe fază este $Q_N = 800$ kvar. Dat fiind că tensiunea pe fază a barei este $U_f = 11{,}56$ kV, vom adopta condensatoare de 100 kvar, cîte două în serie [9] de tipul CSC 6,34/50—100 — 2E cu tensiunea $U_N = 12{,}68$ kV astfel că $U_N/U_f \approx 1{,}09$. Schema de conexiuni a condensatoarelor va fi în dublă stea (fig. 4).

Așadar se adoptă cîte două condensatoare în serie (200 kvar) cu cîte două ramuri în paralel.

2. Considerînd $U_{adm} = 12{,}68$ kV și aplicînd relațiile de calcul (14) și (15), rezultă $C_u \geqslant 15{,}96$ μF și $C_i \geqslant 5{,}64$ μF. Se va alege, așadar:

$$C = 4C_N = 4 \cdot \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 10^6}{12{,}68^2 \cdot 10^6 \cdot 100\pi} \approx 15{,}84\ \mu\text{F pe fază}$$

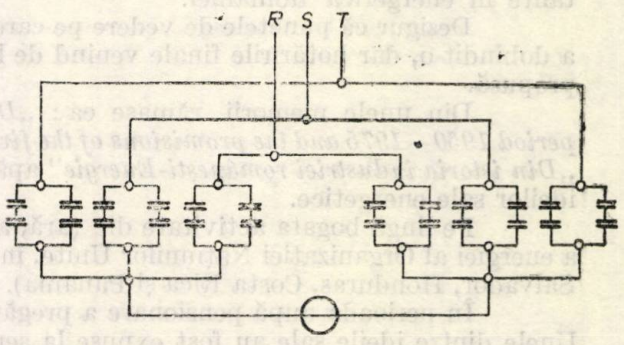


Fig. 4. Schema de conexiuni în dublă stea a condensatoarelor din filtrul de armonică $k = 5$.

3. Se aplică relaţiile (10), (11) şi (12) şi se obţin:

$$I \approx 62{,}1\text{A};\ U_c \approx 12{,}685\ \text{kV şi}\ Q \approx 731\ \text{kvar}$$

Dat fiind că $I_N = 4 \cdot 200/12{,}68 \approx 63{,}08$ A, se constată că restricţiile (6) sînt îndeplinite.

Diferenţa de putere reactivă pe fază, necesară, se poate instala într-o baterie obişnuită sau într-un circuit filtrant acordat pe armonica imediat următoare ca pondere faţă de fundamentală.

BIBLIOGRAFIE

[1] Iordănescu, I. *Măsuri comune pentru compensarea factorului de putere şi atenuarea regimului deformant în reţelele electrice.* SNR, ediţia V-a, vol. III, Cluj-Napoca, 1988.

[2] Chiriţă, I., Conecini, I. *Compensarea regimului energetic deformant.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1989.

[3] *** *PE 143/80. Normativ pentru limitarea regimului deformant.* ICEMENERG, Bucureşti, 1980.

[4] Bălă, C. V. *Dimensionarea filtrelor rezonante pentru receptoarele de putere inductive şi deformante.* În: Electrotehnica nr. 6/1964, p. 205—213.

[5] Arie, E., Nicolae, P., Cristea, H. *Compensarea regimului deformant la instalaţii de redresare echipate cu baterii de condensatoare.* În: Studii şi cercetări de energetică — A, nr. 2/1963, p. 259—277.

[6] Sfichi, R. *Asupra unor probleme de compensare a puterii reactive corelate cu reducerea regimului deformant in installaţiile energetice.* În: Energetica, vol. 29, nr. 2—3 /1981 pag. 76—81.

[7] Sfichi, R. *Cazul particular in care puterea deformantă este nulă. Utilizarea inegalităţii Cauchy — Buniakowski — Schwartz.* În: Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice, seria nouă, anul nr. 5/1991, p. 24—28.

[8] Grzybowski, S. s.a. *Condensatoare în electroenergetică* (traducere din limba polonă). Editura Tehnică, Bucureşti, 1966.

[9] *** *PE 120/85. Instrucţiuni pentru compensarea puterii reactive în reţelele electrice ale furnizorilor de energie şi la consumatorii industriali şi similari.* ICEMENERG, Bucureşti, 1985.

[10] Ionescu, Al. *Combaterea efectului deformant al redresoarelor şi cuptoarelor electrice în reţelele de distribuţie. Sinteză documentară.* ICDT, Bucureşti, 1969.

[11] Puşcaşu, S., Marcovici, J. *Mărimi şi regimuri electrice nesinusoidale.* Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1974.

[12] Balaurescu, D., Eremia, M. *Îmbunătăţirea factorului de putere,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1981.

[13] Bălă, C., Ţogui, L., Covrig, M. *Bobine de reactanţă pentru sisteme energetice.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1982.

[14] Sfichi, R. *Asupra unor aspecte fundamentale privind factorul de putere în regim energetic deformant.* În: Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice. Seria nouă, nr. 6/1992.

[15] Iordănescu, I., Iacobescu Gh. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979.

[16] Comşa, D. ş.a. *Proiectarea instalaţiilor electrice industriale.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti 1979.

(Primit la 9 octombrie 1992, acceptat la 21 decembrie 1992)

De personis

S-a stins din viaţă **IOAN HERESCU**. S-a născut la 10 ianuarie 1912, în oraşul Buzău. A urmat Institutul Electrotehnic, din cadrul Facultăţii de Ştiinţe a Universităţii Bucureşti, conferindu-i-se în 1940 titlul de inginer electrician.

Activitatea de inginer a început-o la Societatea Generală de Gaz şi de Electricitate din Bucureşti, în anul 1941, în secţia de studii. În perioada care a urmat s-a remarcat prin participarea la elaborarea şi editarea de lucrări tehnice ale întreprinderii, între care este de menţionat *„Cum este organizată şi cum funcţionează Societatea Generală de Gaz şi de Electricitate din Bucureşti"*.

În 1943 a fost numit şef al centralei diesel electrice Filaret, în 1951 transferat în cadrul Ministerului Energiei Electrice, iar din 1952 a fost transferat la şantierul CHE Bicaz — Stejarului.

În 1954 a revenit în cadrul ministerului, organizat ca Minister al Industriei Grele.

În 1958 a fost transferat la Comitetul de Stat al Planificării, funcţionînd ca director adjunct şi director al Direcţiei Energiei, pînă la ieşirea la pensie. Aceasta a fost perioada cu cele mai înalte responsabilităţi pe care le-a avut, în cursul căreia au intervenit orientări noi, importante în energetica României.

Desigur că punctele de vedere pe care le-a susţinut reieşeau din lunga experienţă pe care a dobîndit-o, dar hotărîrile finale venind de la alt nivel nu erau totdeauna concordante cu logica propusă.

Din unele memorii rămase ca: *„Development on the energy bases in Romania in the period 1950—1975 and the promisions of the five-year plan 1976—1980"* şi din cartea (în colaborare) *„Din istoria industriei româneşti-Energie"* apărută la Editura Tehnică în 1981, rezultă temeinicia ideilor sale energetice.

Pe lîngă bogata activitate din ţară, a lucrat ca expert tehnic în probleme de conservare a energiei al Organizaţiei Naţiunilor Unite, în Peru şi în ţările din America Centrală (Guatemala, Salvador, Honduras, Costa Rica şi Panama).

În perioada după pensionare a pregătit material pentru o lucrare de sinteză energetică. Unele dintre ideile sale au fost expuse la seminarul AGIR din 12—13 martie 1992.

Decesul lui în 25 iulie 1992 i-a întrerupt o activitate, care mai putea fi utilă.

REDACŢIA

SIMPOZIONUL „TEHNICI NOI DE CONDUCERE A REȚELELOR DE DISTRIBUȚIE"

În zilele de 22 — 24 octombrie 1992 s-au desfășurat la Iași lucrările sesiunii științifice omagiale, intitulate : **„80 de ani de la înființarea primului Institutut Electrotehnic din România, la Iași"**, organizată de Facultatea de Electrotehnică din Institutul Politehnic Iași în colaborare cu RENEL și Societatea Română de Acționări. În cadrul simpozionului omagial consacrat evenimentului, printre numeroasele luări de cuvînt s-au evidențiat intervențiile d-lui prof. dr. ing. Dumitru Bărbulescu și ale d-lui prof. dr. ing. Alexandru Poeată, care au marcat principalele momente din istoricul învățămîntului electrotehnic și energetic ieșean. De asemenea, în același cadru a fost primit cu viu interes referatul prezentat de dl. prof. dr. ing. Aureliu Leca, președintele RENEL, cu privire la problemele actuale cu care se confruntă sistemul energetic național și la concepția de retehnologizare a centralelor electrice și de reorganizare a RENEL.

Manifestările științifice au cuprins și lucrările simpozionului : **„Tehnici noi de conducere a rețelelor de distribuție"**, care au reunit colective de specialiști energeticieni din învățămînt, cercetare și proiectare, producție, din institutele politehnice Iași și Timișoara, ISPE, ICEMENERG, filialele RENEL din Iași, Bacău, Botoșani, filiala ICPE Iași, instituții din Republica Moldova.

Cele 57 de referate înscrise în cadrul simpozionului reflectă orientările actuale în domeniu, atît pe plan național, cît și pe plan mondial, constituind contribuții valoroase ale specialiștilor noștri la rezolvarea unor probleme izvorîte din practica proiectării și exploatării rețelelor electrice de distribuție. O idee remarcabilă, desprinsă din majoritatea referatelor, o constituie faptul că o serie de cerințe, cum sînt : economicitatea, fiabilitatea și calitatea rămîn în continuare deziderate de bază în evoluția concepției de conducere a proceselor din electroenergetică.

Diversitatea aspectelor tematice abordate a impus clasificarea referatelor în patru grupe, pe următoarele probleme :

1. **Cerințe de interes general în conducerea computerizată a proceselor din electroenergetică** — 4 referate.
2. **Concepte și metode noi în conducerea dezvoltării și exploatării rețelelor electrice de distribuție** —14 referate.
3. **Tendințe actuale și de perspectivă privind conducerea în timp real, modernizarea și retehnologizarea centralelor electrice** — 13 referate.
4. **Soluții noi în concepția echipamentelor de semnalizare, comandă, protecție și comutație din instalațiile electroenergetice** — 26 referate.

Principalele idei detașate din conținutul lucrărilor au fost subliniate într-un raport general, urmat de discuții. Totodată, simpozionul a inclus și organizarea, de către un colectiv din ISPE, a unei mese rotunde, în cadrul căreia dl. ing. Dan Racovițan a prezentat o interesantă expunere privind realizările și preocupările colectivului în domeniul implementării rețelelor de calculatoare în conducerea proceselor din centralele electrice.

Referatele prezentate și dezbaterile ce au avut loc au constituit un util un schimb de experiență între specialiști, din care au rezultat concluzii importante pentru activitatea de viitor. Dintre acestea, se menționează următoarele :

- Evidențierea dificultăților actuale și necesitatea depășirii lor în problema implementării conducerii computerizate a rețelelor electrice de distribuție.
- Necesitatea aprofundării conceptelor de controlabilitate și observabilitate în contextul elaborării strategiilor de conducere a instalațiilor electroenergetice; concentrarea eforturilor specialiștilor pentru clasificarea și unificarea punctelor de vedere asupra tehnologiei de specialitate. S-a avansat ideea ca revista „Energetica" să găzduiască acțiuni cu această temă.
- Conturarea direcțiilor de acțiune în vederea ameliorării caracteristicilor tehnice și economice ale echipamentelor instalațiilor electroenergetice în direcția facilitării introducerii noilor tehnici de conducere a rețelelor de distribuție.

Majoritatea participanților au subliniat faptul că domeniul mecanismelor de acționare, a traductoarelor și canalelor de transmisie este mult în urma performanțelor sistemelor de calcul existente.

- Perfecționarea planurilor de învățămînt și a programelor analitice din învățămîntul superior de profil energetic, care să reflecte un nivel optim de cunoștințe în domeniul informatizării proceselor din energetică.

Conf. dr. ing. VIRGIL ALEXANDRESCU
Prof. dr. ing. DUMITRU IVAS

Pirimim de la: ASOCIAȚIA TEHNICĂ PENTRU EFICIENȚA ENERGETICĂ DIN ROMÂNIA (ATEER)

În luna aprilie 1990 a fost înregistrată la Tribunalul sectorului I București, Asociația Tehnică pentru Eficiență Energetică din România (ATEER), una din primele asociații profesionale înființate în țara noastră după decembrie 1989.

Asociația Tehnică pentru Eficiență Energetică din România (ATEER) este o organizație autonomă cu personalitate juridică, nonprofit, neguvernamentală și fără caracter politic.

Scopul ATEER este de a contribui la creșterea eficienței în utilizarea energiei carburanților și combustibililor prin cunoașterea și susținerea realizărilor valoroase privind economia de energie, dezvoltarea tehnologiilor performante sub aspectul consumurilor energetice și valorificarea rentabilă a resurselor energetice refolosibile și a surselor neconvenționale de energie.

ATEER își propune:

— să organizeze dezbateri tehnico-științifice asupra soluțiilor de conservare a energiei care pot fi promovate în condiții de eficiență economică, precum și asupra legislației și normativelor tehnice în aceste domenii;

— să asigure un larg acces la informația tehnologică privind căile și soluțiile de creștere a eficienței energetice;

— să stimuleze și să susțină creația tehnică orientată spre utilizarea energiei, combustibililor și carburanților în condiții de înaltă eficiență;

— să prezinte propuneri unităților economice, institutelor și organismelor guvernamentale interesate privind reducerea energointensivității tehnologice, creșterea randamentelor energetice ale mașinilor și instalațiilor, valorificarea resurselor energetice refolosibile și a surselor neconvenționale de energie.

În vederea realizării obiectivelor propuse, ATEER își propune să dezvolte o gamă largă de acțiuni, astfel:

— organizează colaborări cu unitățile economice, institutele științifice, Academia Română, institutele de învățământ superior, organizațiile științifice, profesionale, sindicale și obștești;

— organizează, prin membrii asociației, activități de consultanță și expertize tehnice;

— realizează sinteze documentare, anchete, colocvii, reuniuni și vizite tehnice, schimburi de experiență, cursuri de perfecționare profesională;

— realizează propagandă tehnică pentru sensibilizarea și informarea publicului, întreprinderilor, organismelor guvernamentale și colectivităților locale;

— organizează și desfășoară acțiuni de colaborare cu organizații cu profil de activitate similar din străinătate;

— editează o revistă și alte publicații proprii;

— acordă distincții și premii, contribuie la protejarea, conform legii, a ideilor.

ATEER este organizată pe acțiuni de specialitate, asociații teritoriale și asociații locale.

Organele ATEER sînt:

— Conferința ATEER
— Consiliul ATEER
— Biroul Consiliului ATEER
— Comisia de cenzori

În ziua de 27 octombrie 1992 a avut loc la sediul ICEMENERG întrunirea membrilor fondatori (în număr de 34) ai ATEER în cadrul căreia au fost stabilite acțiunile necesare în vederea revigorării asociației în viitorul apropiat.

Pe parcursul discuțiilor s-a arătat că mediul de activitate al asociației este deosebit de generos, economia țări noastre avînd un grad de intensivitate energetică de circa trei ori mai ridicat decît cel înregistrat în țările dezvoltate. Eficiența de utilizare a energiei fiind încă scăzută, este necesară în toate sectoarele și în primul rînd în industrie, creșterea eficienței energetice.

Existența altor asociații cu preocupări înrudite (de ex: SOCER, SIER etc.) trebuie să constituie un factor stimulativ pentru ATEER. O „concurență" între aceste asociații nu poate fi decît benefică pentru economia națională.

Pentru afirmarea asociației la nivel național este necesară realizarea unei structuri organizatorice care să coordoneze dezvoltarea ATEER în acestă fază (primiri de noi membri, publicitate privind existența asociației, scopurile și activitățile sale).

În conformitate cu statutul au fost alese Consiliul ATEER format din 15 membri și Biroul Consiliului format din 7 persoane. Componența biroului este următoarea:

— prof. dr. ing. Costin MOȚOIU — președinte
— dr. ing. Jean CONSTANTINESCU — vicepreședinte
— ing. Mircea BREAZU — vicepreședinte
— ing. Vasile RUGINĂ — secretar delegat
— ing. Constantin POPESCU — membru
— ing. Dumitru MANEA — membru
— ing. Natalia BURCHIU — membru

Consiliul ATEER (inclusiv biroul său) are ca principală misiune atragerea de noi membri (individuali și colectivi), consolidarea situației financiare a asociației prin strîngerea cotizațiilor, efectuarea unei publicități în mass-media și pregătirea activității viitoare.

În momentul în care asociația se va dezvolta suficient de mult ca număr de membri, va fi convocată o conferință care să aleagă o conducere definitivă pe 2 ani.

În această etapă, sediul ATEER va fi localul ICEMENERG din Bd. Energeticienilor nr. 8, sector 3.

RENAULD GICQUEL **„Introduction aux problemes energetiques globaux"** editura Economică „Bibliothèque des Matières Premieres", 265 pag., série „Energie", condusă de Jacques Percebois, Paris—France, 1992

Cartea este organizată în cinci capitole: introducere, caracteristicile tehnico-economice ale filtrelor energetice, energia la nivel macroeconomic, aspectele geopolitice, evoluţii recente şi viitoare.

Cartea cuprinde o bibliografie selectivă de 38 de titluri, în care figurează autori ca Wolf Hafele, Yves Lacoste etc. şi unele lucrări de sinteză ca *„Dictionnaire de l'energie"*, SCM, Paris, 1979, *„Guide de l'Energie"*, la documentation Française, 1988, *„Le petite Encyclopédie de l'Energie"*, DGEMP, Dunod, Paris, 1988 etc. şi trei anexe. La sfîrşitul lucrării autorul a introdus un index alfabetic, care cuprinde cuvintele cheie din lucrare, ca de exemple: bilanţ energetic, lanţ energetic, efect de seră, elasticitate, intensitate energetică etc., cu indicarea paginilor unde sînt dezvoltate.

D-l Renaud Gicquel este profesor la Şcoala de Mine din Paris, unde coordonează şi centrul de cercetări energetice. D-l Renaud Gicquel este, de asemenea, director al cercetărilor de la Şcoala de Mine din Nantes.

Cartea, după cum afirmă, editorul, caută să furnizeze o bază de reflecţie asupra problemelor energetice globale, propunînd o analiză aprofundată a principalelor aspecte de luat în considerare: oferta de energie, dependenţa de resursele şi tehnologiile energetice, implicaţiile macroeconomice ale cererii de energie, noile dimensiuni ale problemei energiei.

Pentru a putea aprecia la adevărata valoare conţinutul lucrării vom prezenta detalierea capitolului **„Evoluţii recente şi viitoare"**:

— problemele mediului înconjurător: energia şi poluarea atmosferică, afectarea stratului de ozon, efectul de seră, ploile acide, generalităţi privind alte impacturi ale energiei asupra mediului ambiant, soluţii realizabile;

— gospodărirea cererilor de energie: o ruptură în raport cu tendinţele anterioare, o rentabilitate confirmată, un zăcămînt viitor de luat în considerare;

— perspectiva pe termen scurt şi lung: scenariile pe termen lung privind populaţia mondială, consumul de energie pe cap de locuitor, energia disponibilă; scenarii pe termen scurt privind perspectivele consumului de energie şi ale petrolului, ipotezele asupra creşterii economice mondiale, ipoteze asupra intensităţii energetice, estimarea consumului mondial de energie şi petrol în anul 1995, riscul tensiunilor pe piaţa petrolului.

După cum se poate observa cartea abordează problemele majore ale energeticii la scară planetară: nivelul şi structura consumului de energie în lume, rezervele de resurse energetice (petrol, gaze naturale, cărbuni, uraniu), schimburile internaţionale de energie, piaţa energiei, problemele energetice ale ţărilor dezvoltate, poluarea mediului înconjurător (efect de seră ploile acide,stratul de ozon), conservarea energiei, prognoza dezvoltării energetice, noi dimensiuni ale problemei energetice (impactul asupra mediului înconjurător, influenţa crescîndă asupra bogăţiei mondiale, persistenţa unor restricţii geopolitice, creşterea rolului ţiţeiului, reducerea conţinututului în energie a PIB, necesitatea unui efort considerabil de dezvoltare tehnologică).

Autorul acestei recenzii constată cu satisfacţie o susţinere a tezelor sale cu privire la „energetica de tranziţie", la necesitatea „axiomatizării informaţiilor despre energetică", la susţinerea prin date statistice şi idei generalizate că energetica este o „ştiinţă interdisciplinară" de prim ordin.

D-l Renaud Gicquel arată în introducere: *„După decenii în care energia a fost ieftină şi în abundenţă, am intrat acum după 20 de ani într-o perioadă în care criza a devenit regula generală. Această dezordine în peisajul energetic trebuie să ne preocupe, deoarece impactul crizelor energetice asupra societăţii umane a devenit considerabil: recesiunea economică, creşterea şomajului, conflicte internaţionale, penurie de combustibil tradiţional, creşterea impactului asupra mediului înconjurător"*. Iar în continuare dezvolta o altă idee: *„Energia este un domeniu foarte vast care poate să fie abordat sub multiple unghiuri. Firul conducător, în abordarea propusă aici, este de a începe prin prezentarea bazelor tehnice ale energiei şi deci, pe scurt, oferta, pentru a aborda în sfîrşit cererea, adică dimensiunea macroeconomică şi socială şi să se termine prin studiul marilor probleme globale relativ la energie"*.

Dacă primul citat defineşte în fapt începutul energeticii de tranziţie, cel de-al doilea citat marchează necesitatea abordării problemelor globale relativ la energie, respectiv problemele energeticii considerată ca ştiinţă interdisciplinară. Energetica Franţei face obiectul unui subcapitol intitulat **„Situaţia energetică a Franţei"** din cadrul capitolului **„Aspecte geopolitice"**, care abordează o bogată problematică: situaţia energetică mondială, rezervele şi resursele energetice, schimburile internaţionale (pieţele energiei sînt foarte diferenţiate, relaţiile în-

tre preţul petrolului şi acela al altor surse de energie, impactul politicilor energetice din perioada 1973—1983 asupra pieţei petrolului), problemele energetice ale ţărilor în dezvoltare, necesităţile mondiale în investiţii.

Deşi autorul nu face o distincţie directă între ştiinţa interdisciplinară energetica şi politicile energetice ca reflectare a energeticii în plan aplicativ, adică specificul fiecărei ţări, acesta rezultă în mod implicit.

Cartea „*Introduction aux problems energetiques globaux*" de Renauld Gicquel, pe lîngă caracterul actual şi abordarea sistemică a problemelor energetice, deschide noi orizonturi pentru specialiştii energeticieni şi se constituie într-o lucrare de sinteză utilă analiştilor şi factorilor de decizie din domeniul energetic. Totodată lucrarea demonstrează cu prisosinţă că s-a depăşit şi în energetică faza „amatorismului", a „flerului" şi că numai un profesionalism susţinut cu ansamblul de tehnici, metode şi mijloace pe care ni le oferă ştiinţa modernă poate să ne conducă la găsirea căilor optime ale evoluţiei energetice a unei ţări.

Existenţa unei concepţii globale, a unei concepţii integrate şi implementarea acesteia, necesită un ansamblu de criterii de care trebuie să se ţină seama: costurile minime, maximizarea eforturilor proprii, minimizarea cheltuielilor valutare. Dacă pentru ţările occidentale este suficient criteriul costurilor minime, pentru ţara noastră este realist să se ţină seama de toate trei criteriile.

Lucrarea recenzată „*Introduction aux problems energetiques globaux*" de Renauld Gicquel se citeşte uşor, este scrisă într-un stil alert, bine documentată şi o recomandăm cu căldură cititorului român.

Prof. dr. doc. ing. VASILE NITU

De personis

Profesor inginer ION I. INCULEŢ

Pe data de 10 noiembrie 1992, Adunarea Generală a Academiei Române l-a ales pe domnul profesor inginer Ion I. Inculeţ membru de onoare. Această alegere reprezintă recunoaşterea valorii ştiinţifice deosebite a profesorului Ion I. Inculeţ.

Prof. ing. Ion I. Inculeţ s-a născut la 11.02.1921 la Iaşi, fiind fiul lui Ion Inculeţ, preşedintele Sfatului Ţării din Basarabia, care, la 27 martie 1918, consfinţea unirea cu România. Ion Ianculeţ a fost membru al Academiei Române.

Profesorul Ion I. Inculeţ a absolvit, în anul 1944, Facultatea de Electrotehnică a Institutului Politehnic Bucureşti. În anul 1946 a plecat în Canada. Prin activitatea sa profesională şi ştiinţifică prof. Ion I. Inculeţ s-a impus ca o personalitate ştiinţifică în domeniul specialităţii sale, electricitatea statică, recunoscută şi apreciată în numeroase ţări. Profesor la Universitatea din Western Ontario, oraşul London — Canada, director al Institutului de Cercetări al Electrostaticii Aplicative, domnul Ion I. Inculeţ, este autor a circa 120 lucrări ştiinţifice, publicate în reviste de specialitate sau prezentate la sesiuni ştiinţifice internaţionale, precum şi autor sau coautor a şapte cărţi. Este, totodată, autor sau coautor, a 18 inovaţii şi invenţii care au fost patentate în numeroase ţări. În domeniul electricităţii statice dl. prof. Ion Inculeţ a fost solicitat în calitate de consultant de numeroase instituţii şi companii ca: NASA, Xerox Corporation, General Motors, Westinghouse Corporation etc. De asemenea, a fost invitat să ţină conferinţe la instituţii de prestigiu, ca Royal Swedish Academy of Engineering Suedia, University of Michigan USA etc.

Dat fiind bogata activitate ştiinţifică, profesorul Ion I. Inculeţ a fost ales membru al diferitelor instituţii: Electrostatic Society of America, Electrostatic Society of Japan, Fellow Member of the IEEE etc. Profesorul Ion I. Inculeţ este preşedintele IEEE (Institution of Electric and Electronic Engineers) al subsecţiei Quebec. Bogata activitate profesională şi ştiinţifică a domnului profesor Ion I. Inculeţ, merită felicitări şi ne bucură deoarece domnia sa este un fiu al ţării noastre şi ne reprezintă cu cinste în străinătate.

Prof. dr. ing. GLEB DRĂGAN
Membru corespondent al Academiei Române

Yves Porcheron

În toată existența sa, de la înființare în 1921 și pînă astăzi, Conferința Internațională a Marilor Sisteme Electroenergetice (CIGRE) a conferit personalităților care au deținut funcția de Secretar General al acesteia o poziție prestigioasă în comunitatea tehnico-științifică internațională a energiei electrice.

În conducerea organizației, el este singura personalitate „cu normă întreagă" și este prin tradiție francez și de extracție edefistă în epoca postbelică, CIGRE avînd sediul oficial și ținîndu-și sesiunile bienale la Paris.

YVES PORCHERON, care exercită această funcție din toamna anului 1991, se înscrie astfel între cîteva nume cunoscute în istoria electroenergeticii mondiale, unde în capul listei figurează JEAN TRIBOT-LASPIÈRE, fondator și delegat general (denumirea inițială a funcției de secretar general) între anii 1921 și 1963.

YVES PORCHERON s-a născut la Oran, în Algeria, în anul 1930, el fiind ceea ce în Franța se numește „pied noir" și este absolvent din anul 1953 al Școlii Naționale de Poduri și Șosele din Paris, una din instituțiile de învățămînt superior din Franța, care se bucură de denumirea neoficială de „grandes écoles" și care se numără pe degetele unei singure mîini. Aceasta a fost și denumirea, tradusă ad litteram în românește, pe care a purtat-o politehnica bucureșteană de la înființare și pînă în primii ani după Marele Război de Întregire a Neamului (1916—1918).

Tînărul absolvent se angajează la Electricité de France, unde își începe activitatea la renumita Direcție de Studii și Cercetări, fiind însărcinat cu cercetarea și concepția liniilor aeriene și în special cu stîlpii acestora. Generațiile mai vechi își amintesc de stîlpii de înaltă tensiune introduși de EdF în anii '60, denumiți de tip „pisică".

Ulterior, în calitate de șef al Diviziei de linii aeriene, realizează stația de încercări mecanice a stîlpilor de la Sens, una din primele instalații de investigații pe viu la mărime naturală a structurilor liniilor aeriene. realizate pe plan mondial. În 1973 își lărgește domeniul de activitate, devenind șeful Serviciului de Linii și Echipamente de Stații al aceleiași Direcții de Studii și Cercetări a EdF.

Începînd cu anul 1982 trece în Direcția de Producere și Transport ca director adjunct al Departamentului de Construcția Sistemului de Transport, în care calitate este responsabil cu concepția și realizarea lucrărilor noi din rețeaua de transport. Pe linie internațională :

— a activat ca expert în probleme de transport la „EdF International" ;

— a fost secretar al Comitetului de Linii Aeriene (1975—1981) și președinte din 1980 al comitetului 36 izolatoare, de la Comisia Electrotehnică Internațională (CEI) ;

— la CIGRE : începînd din 1963, expert în diverse grupe de lucru ale Comitetelor Internaționale de Studii 22 „Linii aeriene" și 33 „Coordonarea Izolației", secretar al Comitetului 22 (1976—1982) și președinte al aceluiași comitet (1982—1988).

Este membru laureat al Societății Electricienilor și Electroniștilor Francezi (SFEE), membru al Comitetului Tehnic al Electricității din Franța, membru al Institutului Inginerilor Electricieni și Electroniști (IEEE) din Anglia.

Chiar în prezent, de cînd a devenit secretar general al CIGRE, își păstrează o funcție de controlor general la EdF. Este o practică uzuală a marii organizații naționale, dar de binemeritată reputație internațională, care este Electricité de France, de a-și păstra o legătură simbolică, dar nu numai, cu personalitățile ce s-au lansat în oceanul tehnico-științific internațional din porturile de bază ale EdF.

YVES PORCHERON îngemănează în același personaj atît trăsăturile unui specialist cu experiență, cît și pe cele ale unui diplomat tehnico-științific, strict necesare într-o funcție internațională de înalt nivel. Fire deschisă, perfect abordabil, și-a creat rapid o opinie de unanimă apreciere favorabilă în lumea CIGRE, cît și în a acelora care, situați în afara organizației, au contingență cu aceasta.

Pentru Comitetul Național Român dovedește o disponibilitate ireproșabilă în eforturile acestuia de a-și regăsi locul, temporar pierdut, în imprejurările cunoscute din anii '80, în ierarhia autoreglantă a organizației. Este evidentă obligația cigréenilor români de a justifica această disponibilitate.

Dr. ing. CĂLIN MIHĂILEANU
Președinte al CNR al CIGRE

ANIVERSARE

Aniversările sînt întotdeauna binevenite, deoarece ele reîmprospătează memoria reamintind evenimente care, la timpul lor, au fost necesare și a căror influență se resimte și acum. Evident, sînt evenimente de-o importanță deosebită, altele mai puțin semnificative care, însă, merită să fie menționate, așa cum este și cel la care doresc să mă refer.

În acest an se împlinesc 40 de ani de cînd a fost organizată prima conferință din țara noastră privind domeniul de tehnica tensiunilor înalte, conferința intitulată **„Coordonarea izolației și protecția instalațiilor electrice împotriva supratensiunilor"**. Această conferință, care a avut loc la Sibiu, a fost urmată de o serie de alte conferințe cu aceeași temă. În perioada 1952—1966 au avut loc, în total, șapte asemenea conferințe, organizate la Sinaia, Ploiești, Cîmpina, București. Tematica abordată a cuprins practic toate domeniile tehnicii tensiunilor înalte, și anume :

- **Trăsnetul. Parametrii curentului de trăsnet. Indicele keraunic și valorile acestei mărimi în țara noastră.**
- **Supratensiuni atmosferice și de comutație. Protecția contra acestor supratensiuni.**
- **Echipamente de protecție contra supratensiunilor.**
- **Coordonarea izolației rețelelor și echipamentelor electrice de înaltă tensiune.**
- **Poluarea izolației. Mijloace de protecție.**
- **Descărcarea corona. Fenomenologie; determinarea pierderilor de putere activă prin descărcarea corona.**

Am organizat conferința, din anul 1952, de la Sibiu, ca și cele ce-au urmat, din dorința de a crea o opinie favorabilă domeniului de tehnica tensiunilor înalte. Introducerea acestei discipline la facultățile de energetică și electrotehnică din țara noastră a fost întîmpinată, de mulți, cu neîncredere; și aceasta pentru că acest domeniu era puțin cunoscut la noi. Era deci necesar să se arate inginerilor, opiniei tehnice din țara noastră, că specialitatea de tehnica tensiunilor înalte trebuie introdusă și dezvoltată și la noi.

Conferința de la Sibiu a constituit un prim pas, pentru ca, în timp, interesul pentru acest domeniu să devină tot mai mare. Dacă la Sibiu au participat circa 60 de persoane, la celălalte conferințe, cu aceeași tematică, au fost prezente 200—250 persoane.

După anul 1966 s-au organizat de către diferite instituții (CITDEE, IRME, IRE-uri, ICEMENERG), conferințe din domeniul energeticii cu o tematică mult mai largă, la care, cu regularitate, era prevăzută și o secție de tehnica tensiunilor înalte. Astfel încît acest prim pas privind introducerea, mai largă, a cunoașterii tehnicii tensiunilor înalte în țara noastră— care s-a făcut la Sibiu — urmată de alte 6 conferințe a dat roade.Iată de ce această aniversare a conferinței de la Sibiu, din anul 1952, este bine venită.

Prof. dr. ing. GLEB DRĂGAN
Membru corespondent al Academiei Române

ANUNȚ

Autorii sînt rugați să consulte articolul „Reguli de utilizare a unităților de măsură și a multiplilor și submultiplilor", autor dl. Gheorghe ISBĂȘOIU, apărut în revista METROLOGIA APLICATĂ, vol. XXXI, nr. 3, 1984, care comentează modul de aplicare a legilor României referitoare la sistemul internațional de unități de măsură.

Respectarea acestor reguli condiționează acceptarea lucrărilor pentru publicare în revista ENERGETICA.

Redacția

SOMMAIRE

EDITORIAL 55

RESEAUX ELECTRIQUES
CLAUDE GARY : Les effets biologiques du champ magnétique du point de vue du spécialiste dans le domaine de l'électricité 56—68
NICOLAE GOLOVANOV, ADRIANA TRUȘCĂ : La protection des stations électriques contre les coups directs de foudre 69—37

ORIENTATIONS DES POLITIQUES ENERGETIQUES
ION CONECINI : La cooperation internationale dans le secteur de l'électricité 74—81

CONDUITE ET AUTOMATION DES RESEAUX D'ENERGIE
FLAVIUS DAN ȘURIANU : Expériment et simulation numérique d'insularisation dans le système électrique-énergétique du combinat sidérurgique de Hunedoara 82—86

POUR LES JEUNES SPECIALISTES
ROMULUS SFICHI : Aspects, précisions et commentaires en ce qui concerne le calcul de dimensionnement des filtres bouchon d'harmoniques supérieures dans les conditions où les charges admissibles des condensateurs dans le régime de durée ne sont pas dépassées 87—92

MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES
VIRGIL ALEXANDRESCU, DUMITRU IVAS : Le symposium „Nouvelles techniques de direction des reseaux de distribution", Iași, oct. 1992 93
GLEB DRĂGAN : L'utilisation efficiente des ressources énergétiques 86

NOUS RECEVONS DE LA PART DE : L'Association Technique pour l'Efficacité Energétique de Roumaine 94

CHRONIQUES
VASILE NITU : Renauld Giquel : „Introduction aux problèmes énergétiques globaux", Paris, 1992 95—96

DE PERSONIS 92, 96, 97

HISTOIRE DE L'ENERGETIQUE
GLEB DRĂGAN : Anniversaire 98

INHALT

LEITARTIKEL 55

ELEKTRISCHE NETZE
CLAUDE GARY : Die biologischen Auswirkungen des magnetischen Feldes aus dem Stand punkta des Elektrofachmanhes 56—68
NICOLAE GOLOVANOV, ADRIANA TRUȘCĂ : Der Schutz der elektrischen Stationen gegen direkten Blitzeinschlag 69—73

ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT
ION CONECINI : Internationale Zusammenarbeit im Elektrizitätsselator 74—81

DIE LEITUNG UND REGELUNGSTECHNIK, DER ELEKTROENERGIE SYSTEME
FLAVIUS DAN ȘURIANU : Experiment und numerische Insularisierungssimulation im Elektroenergiesystem des Eisenhüttenkombinats Hunedoara 82—86

FÜR JUNGE FACHLEUTE
ROMULUS SFICHI : Aspekte, Verdeutlichungenuund Kommentare betreffend die Dimensionsberechnung der Oberwellenabsorbtionsfilter unter den Bedingungen des Nichtüberschreitens des zulässigen Last im Dauerbetrieb der Kondensatoren 87—92

VERANSTALTUNGEN
VIRGIL ALEXANDRESCU, DUMITRU IVAS : Symposium : „Neue Leitungstechniken für Verteilungsnetze.", Iasi, Oktober 1992 93
GLEB DRĂGAN : Effiziente Verwendung des Energievorrats 86

WIR ERHALTEN VON DEM : Technischen Verein für Energieeffizienz aus Rumänien 94

REZENSION
VASILE NITU : Renauld Giquel : „Introduction aux problemes energetiques globaux" Paris, 1992 95—96

DE PERSONIS 92, 96, 97

DIE GESCHICHTE DER EINFUHRUNG DER ELEKTRIZITÄT
GLEB DRĂGAN : Jahrestag 98

CONTENTS

EDITORIAL 55

ELECTRIC NETWORKS
CLAUDE GARY : The Electrician Specialist Opinion on the Magnetic Field Biological Effects 56—68
NICOLAE GOLOVANOV, ADRIANA TRUȘCĂ : Electric Line Protection Against Direct Strokes 69—73

TRENDS IN ENERGY POLICY
ION CONECINI : International Co-operation in the Power System 74—81

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION
FLAVIUS DAN ȘURIANU : Experiment and Digital Insulating within Electric Power System at Hunedoara Ferrous Metallurgy Works 82—86

FOR YOUNG SPECIALISTS
ROMULUS SFICHI : Aspects Specifications and Comments on the Computations of Sizing the Higher Harmonics Absorbing Filters when the Admissible Loads Are not Surpassed During Condenser Term Operation 87—92

EVENTS
VIRGIL ALEXANDRESCU, DUMITRU IVAS : Symposium : „New Techniques in Controlling the Transfer Networks" Iași, October, 1992 93

GLEB DRĂGAN : Energy Resources Efficient Use 86

FROM : THE TECHNICAL ASSOCIATION FOR ENERGY EFFICIENCE IN ROMANIA 94

REVIEWS
VASILE NITU : Renauld Giquel „Introduction aux Problèmes énergétiques globaux", Paris, 1992 95—96

DE PERSONIS 92, 96, 97

THE HISTORY OF ENERGETICS
GLEB DRĂGAN : Anniversary 98

ANUNȚ

Din colecția de reviste a redacției lipsește anul 1981.

Facem apel la abonații care au colecția revistei să ne pună la dispoziție numerele 1—12 din anul 1981, fie definitiv, fie sub formă de împrumut.

Așteptăm ofertele dv. la redacția revistei ENERGETICA.

HIDROCONSTRUCTIA S.A.

103-105 Calea Dorobanti
Sector 1 Code 71.223
Bucharest - Romania

Tel: (40-1) 679.64.30
Telex: 10[illegible]44 R
Fax: (40-1-) 312.97.64

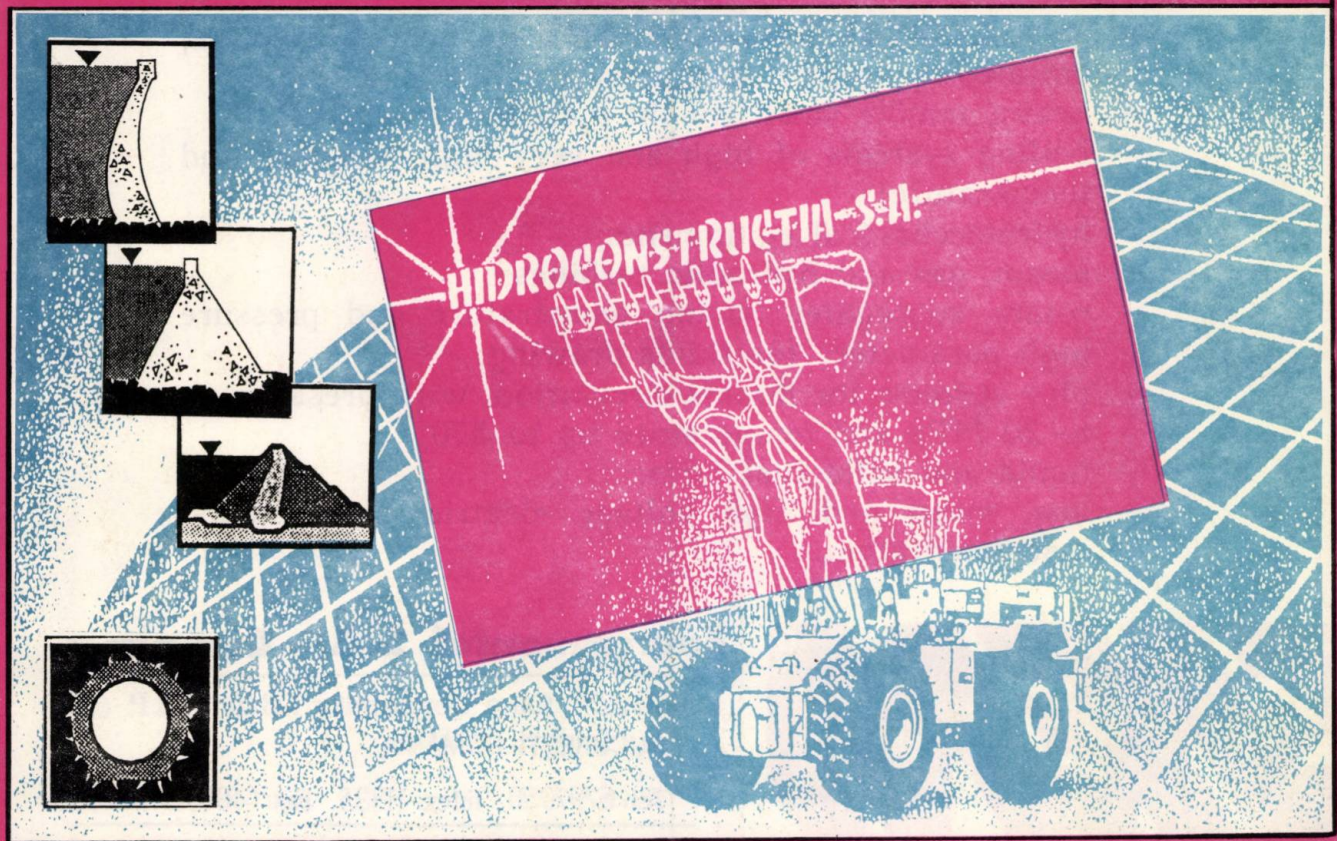
BUSINESS INITIATIVE DIRECTIONS · BID ·

Execută:

* BARAJE DIN BETON (de greutate, in arc, cu contraforti)
* BARAJE DIN PAMINT, ANROCAMENTE SI ALTE MATERIALE LOCALE
* CENTRALE HIDROELECTRICE DE SUPRAFATA SI SUBTERANE
* ECLUZE, PORTURI, DRAGAJE
* CANALE, CONDUCTE, BLINDAJE
* GALERII DE ADUCTIUNE, DE FUGA, GALERII SECUNDARE, PRIZE DE APA
* STATII DE POMPARE, SISTEME DE IRIGATII
* LUCRARI DE FORAJE SI INJECTII
* LUCRARI SPECIALE: INCINTE BATARDOURI CELULARE, DEROCARI SUB APA BETOANE PRECOMPRIMATE
* ECRANE DE ETANSARE, PERETI MULATI
* STATII DE SORTARE SI ALTE INSTALATII TEHNOLOGICE
* DRUMURI, AUTOSTRAZI, PODURI, VIADUCTE
* CONSTRUCTII INDUSTRIALE SI CIVILE
* CONFECTII METALICE, PREFABRICATE DIN BETON, AGREGATE
* SCULE DE MINERIT, BURGHIE
* TRANSPORTURI AUTO DE MARFURI SI MATERIALE
* ACTIVITATE DE TURISM

A executat:

115 CENTRALE HIDROELECTRICE CU O PUTERE INSTALATA DE 5.850 MW
118 BARAJE CU O CAPACITATE DE RETENTIE DE 10.800.000.000 MC



Energomontaj S.A. Company

SAEM

BUCHAREST - ROMANIA

ENERGOMONTAJ S.A. COMPANY performes erection, commissioning, repair and intervention works for:

- heavy, middle small weight metallic structures;
- boiling systems of high and very high pressure and temperature;
- hydromechanical equipments;
- steam, gas and hydraulic turbines;
- rotary aggregates having temperature and pressure high parameters for fluids drawing;
- pipe systems for liquids circulation, with pressure up to 20 MPs and temperature up to 570°C;
- liquid and solid fuel farm;
- low, mean and high voltage electric installations;
- instrumentation.

1993 SEP 27

SAEM

Energomontaj S.A. Company

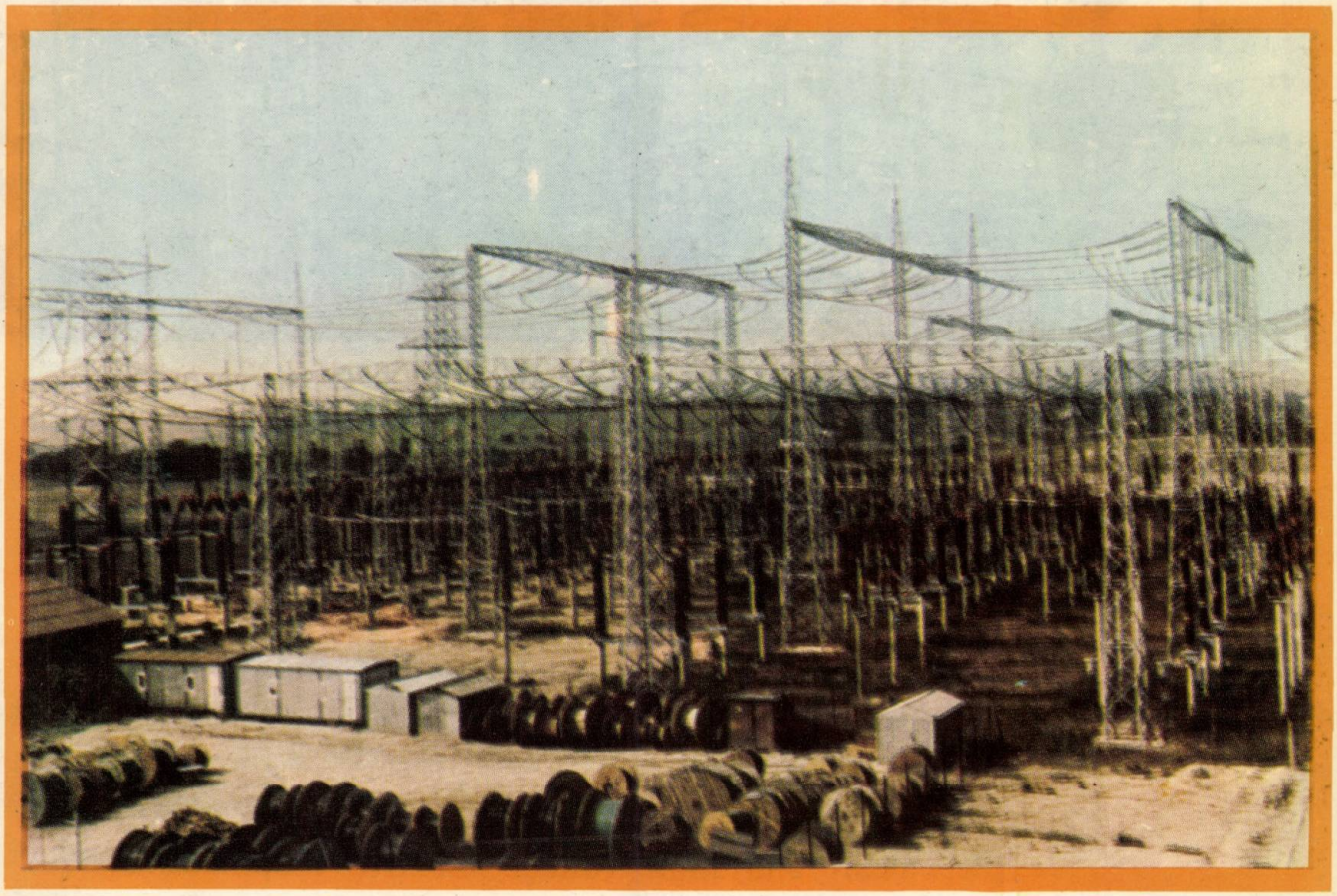
71223 Calea Dorobanţilor 103-105 O.P. 63
BUCUREŞTI - ROMÂNIA
Tel: 6797020 Telex: 11335 Fax: (400) 3129766

E 2039/A

ANUL
41

energetica

seria B



4
iulie–august 1993

Energomontaj S.A. Company

SEM

BUCHAREST - ROMANIA

ENERGOMONTAJ S.A. COMPANY performes erection, commissioning, repair and intervention works for:

- heavy, middle small weight metallic structures;
- boiling systems of high and very high pressure and temperature;
- hydromechanical equipments;
- steam, gas and hydraulic turbines;
- rotary aggregates having temperature and pressure high parameters for fluids drawing;
- pipe systems for liquids circulation, with pressure up to 20 MPs and temperature up to 570°C;
- liquid and solid fuel farm;
- low, mean and high voltage electric installations;
- instrumentation.

SEM

Energomontaj S.A. Company

71223 Calea Dorobanţilor 103-105 O.P. 63
BUCUREŞTI · ROMÂNIA

Tel: 6797020 Telex: 11335 Fax: (400) 3129766

ORSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONT KÖNYVTÁR 1883

ENERGETICA

REVISTA DE SPECIALITATE A ENERGETICIENILOR DIN ROMÂNIA

ANUL 41 — NR. 4, SERIA B — IULIE—AUGUST 1993

ISSN : 1220—5141

Revista ENERGETICA a fost înființată în anul 1953, continuînd tradiția vechilor publicații inginerești care au avut preocupări în domeniul energiei ca de exemplu
- Diaru pentru vulgarizarea științeloru naturale și fizice (1870 — 1882) ;
- Buletinul Societății Politehnice (1887 — 1944) ;
- Buletinul Asociației Generale a Inginerilor din România — AGIR (1919— — 1946) ;
- ENERGIA, editată de ing. Dumitru Leonida (1921) ;
- Buletinul Asociației Producătorilor și Distribuitorilor de Energie Electrică — APDE (1932— 1944) ;
- Buletinul Institutului Român de Energie — IRE (1933 — 1944)

Opiniile exprimate în articolele publicate în revista ENERGETICA aparțin autorilor acestora.

Orice reproducere integrală sau parțială, prin indiferent ce procedeu, a materialelor apărute în revista ENERGETICA poate fi făcută numai cu aprobarea biroului de redacție. Sînt autorizate numai citările destinate lucrărilor științifice și volumelor în care acestea sînt inserate.

Revista apare alternativ în două serii :
- seria A, care tratează probleme de surse de energie, conversie de energie, poluare a mediului înconjurător, utilizare a căldurii etc. ;
- seria B, care tratează probleme electrice, inclusiv ale centralelor electrice, stațiilor electrice, ale liniilor de transport și distribuție a energiei electrice, sisteme electroenergetice etc.

Fiecare serie are 6 numere pe an.

CUPRINS

EDITORIAL 151—152

ENERGETICA ÎN UNITĂȚI ECONOMICE

CORNELIA IONESCU, IULIAN FLORICEL : Posibilități de studiere a regimurilor de funcționare ale unor instalații de încălzire inductivă folosind metode numerice 153—166

REȚELE ELECTRICE

DORIN CRISTESCU, RADU RUSAN : Impactul liniilor electrice aeriene asupra mediului înconjurător 167—175

TEODOR MIHAI ERHAN, VICTOR BÎRLĂDEANU, ELENA ERHAN : Curenții de scurtcircuit. Variația și influența lor în sistemele electroenergetice 176—179

CORNELIU VELICESCU : Determinarea continuității în alimentarea cu energie electrică în sistemele interconectate 180—183

OPINII

PETRE UNGUREANU : Puncte de vedere în legătură cu congrese și conferințe internaționale cu profil energetic (cu comentariile d-lui dr. ing. Călin Mihăileanu) 184—187

MANIFESTĂRI TEHNICO-ȘTIINȚIFICE

LIVIU MĂGUREANU : Simpozion româno-german 188

JEAN CONSTANTINESCU : Puncte de vedere și tendințe manifestate în cadrul conferinței „Către o politică energetică durabilă în Europa" 189—193

CĂRȚI NOI

PAUL CARTIANU : Contribuții românești într-o publicație străină pentru istoria electricității 193

CRONICA

CONSTANTIN OSTAP : Înființarea asociației „Tehnică și umanism" la Iași 175, 179

DE PERSONIS 194

Our review publishes ADVERTSMENTS for your PRODUCTS, TECHNOLOGIES, SERVICES, etc.

Please, contact us at the address:
Revista ENERGETICA
ICEMENERG, B-dul Energeticienilor nr. 8,
Bucureşti III, RO 79619
Phone: 322.06.92; 321.69.66/251
Fax: 00400 129315
Telex: 10783

BIROUL DE REDACŢIE : dr. ing. Eugeniu PAVEL — preşedinte, redactor-şef ; prof. dr. ing. Dumitru Cezar IONESCU-redactor-şef adjunct ; dr. ing. Jean CONSTANTINESCU-redactor-şef adjunct ; ing. Nicolae NICULESCU-secretar de redacţie ; ing. Gabriel POPESCU-reprezentant RENEL ; dr. ing. Ioan GANEA-director Editura Tehnică ; ing. Mihai NICOLAU- reprezentant ICEMENERG

MEMBRI : prof. dr. ing. Victor ATHANASOVICI ; conf. dr. ing. Adrian BADEA ; prof. dr. ing. Cornel BIANCHI ; ing. Iuliu BLECHTAL ; ing. Paul CARTIANU ; ing. Mircea CÂRDU ; chim. Mihai CHIRICĂ ; dr. ing. Mihai CONSTANTINESCU ; ing. Vladimir CONSTANTINESCU ; prof. dr. ing. Dorin CRISTESCU ; prof. dr. ing. Nicolae DĂNILĂ ; dr. ing. Mario DUMA ; ing. Alexandru FLORESCU ; dr. ing. Laurenţiu GOIA ; dr. ing. Dan GOLICIU ; prof. dr. ing. Dumitru IVAS ; dr. ing. Gheorghe LUCA ; dr. chim. Maria MAFTEI ; dr. ing. George MANOLESCU ; ing. Alexandru MIHĂILĂ ; ing. Cornel MOŢIU ; prof. dr. ing. Costin MOŢOIU ; conf. dr. ing. Virgil MUŞATESCU ; prof. dr. ing. Viorel NEGRU ; conf. dr. ing. Valeriu NISTREANU ; ing. Cornel PÎSLARU ; prof. dr. ing. Alexandru POEATĂ ; dr. ing. Teodor POPA ; dr. ing. Marius POMÂRLEANU ; dr. ing. Anca POPESCU ; ing. Constantin POPESCU ; ing. Miron POPESCU ; ing. Gabriel ROMAŞCU ; ing. Anton ROŞU ; ing. Margarios SALGIAN ; ing. Anton VLĂDESCU ; ing. Gheorghe VOICU ; ing. Dinu VOINEA

Redactor : Ana Maria CHIVU

Redacţia şi administraţia :
ICEMENERG, B-dul Energeticienilor nr. 8, CP 79619, Sector 3, Bucureşti
Telefon : 322 06 92 ; 321 69 66/251
Telex : 10783 ; Fax : 00400 129315

Coperta I : Staţia 400 kV Isaccea

S.C. UNIVERSUL S.A. c. — 3857

EDITORIAL

În ultimul timp, informaticienii se ocupă intens de cercetări privind extinderea aplicațiilor a ceea ce se numește inteligența artificială.

Sfera de aplicare a acestui concept în domeniul energeticii a fost de la început foarte largă. Sîntem deja într-o nouă etapă, în care sistemele computerizate se apropie și mai mult de raționamentele creierului uman.

Conceptul de inteligență artificială a fost introdus încă de la începuturile realizării computerelor, în decada anilor '80. Dezvoltarea tehnologică impetuoasă, prin înlocuirea tuburilor electronice cu tiristoare, tranzistoare și alte elemente, miniaturizarea, extinderea funcțiilor rezolvabile a dus la pași giganți în acest domeniu, realizîndu-se viteze ale operațiilor și volume de memorii de neimaginat.

Dezvoltarea procesoarelor și microprocesoarelor, a senzorilor și captorilor a dus la sisteme computerizate care, din punctul de vedere al raționamentului, încep să semene foarte mult cu sistemul nervos uman. Totuși, pînă acum cîțiva ani „gîndirea" sistemelor computerizate a fost de „tip algoritmic". Cu alte cuvinte ele primeau un program prestabilit, imaginat și conceput în detaliu de om, pe care elementele computerizate îl urmăreau și-l realizau on- sau off-line. Baza raționamentului este logica formală transpusă în logica binară, care utilizează raționamente silogistice, într-o anumită măsură tautologice. Structura sistemelor computerizate se bazează, de altfel, pe elemente care realizează funcții și operații raționale mult mai complicate. Între altele, el este capabil să realizeze procesul de „inferență", proces rațional care folosește nu numai silogismele și baza de informații memorizate, ci și o experiență ontogenetică și ortogenetică memorizată natural în complexul sistem neuronic al ființei omenești.

Entuziaștii cercetători ai inteligenței artificiale încearcă să apropie sistemele computerizate cît mai mult de inteligența umană. În viața de toate zilele, omul are de-a face cu date de intrare foarte diferite, uneori vagi, iar în decizii pune o mare doză de subiectivism. Aceasta nu înseamnă ca deciziile lui sînt mai puțin bune. Dimpotrivă, ele țin seama de niște realități și mai ales de experiența acumulată. Ca urmare, informaticienii examinează aplicațiile acelor discipline intersectoriale, care pot ajuta la extinderea procedeelor de raționament. Astfel se aprofundează :

— studiul rețelelor neuronale care examinează celula nervoasă vie (neuronul) și elementele ei funcționale : dendritele, axionii și sinapsele, încercînd să le reproducă pe modele artificiale ;

— studiul proceselor de autoinstruire pornind de la procesele de autoadaptare ;

— teoria mulțimilor vagi (Fuzzy), care înlocuiește teoria probabilităților oarecum mai rigidă. Noțiunea de probabilitate nu mai are rigoarea pe care acest termen o are în matematică. Riscul este evaluat pe o scară de apreciere care are cel puțin trei niveluri : „foarte puțin probabil", „posibil", „probabil" la care se mai poate adăuga : „foarte probabil" și „practic sigur".

Cu ajutorul acestor discipline și utilizînd și alte concepte noi, se urmărește realizarea unor ansambluri de dispozitive care sînt în stare să „raționeze artificial", cît mai aproape de raționamentul unui om expert într-un domeniu. Asemenea ansambluri se numesc „sisteme expert"' și au început să fie experimentate și cercetate de cîțiva ani (trei-patru ani).

Specialiștii în energetică au receptat foarte repede ideile și și-au dat seama de avantajele utilizării sistemelor expert în exploatarea instalațiilor energetice, cu corolarul lor economic. Investițiile făcute se recuperează din economiile rezultate prin alimentarea în mai bune condiții a consumatorilor. La cel de-al 11-lea Congres Internațional al Rețelelor Electrice de Distribuție (CIRED) ținut în 1991 în Belgia, în cadrul secției „Exploatarea și comanda rețelelor publice de distribuție" problema sistemelor expert a constituit un laitmotiv pentru aproape toate rapoartele prezentate. Majoritatea țărilor dezvoltate tehnologic au introdus deja, cel puțin experimental, asemenea procedee. Ca exemplu se pot sublinia rezultatele obținute de EdF și prezentate într-un raport interesant. EdF a introdus în rețelele de distribuție proprii două tipuri de sisteme expert, complementare între ele : primul denumit sistem de „ascultare" (diagnosticare ca în medicină) și al doilea,

un sistem expert pentru determinarea nevoilor bugetare în materie de întreținere și de dezvoltare, la nivelul unei unități de distribuție. Familiile de funcții pe care le îndeplinește sistemul expert de ascultare sînt: alegerea și clasificarea incidentelor după forma și tipul defectelor; detectarea în timp a incidentelor nepermanente care prezintă similitudini și care pot da indicații asupra defectelor latente; diagnosticarea funcționării sistemelor de protecție, automatizare și comandă la stațiile-sursă; localizarea defectelor prin calculul impedanțelor aparente; analiza formelor oscilațiilor înregistrate și stabilirea corelațiilor cu defectele tipice, pentru a cerceta defectele de materiale (izolație etc.). Raportul precizează că EdF are intenția să dezvolte sistemul, pe baza unui program riguros „de machetaj, prototipaj și industrializare". Multe alte rapoarte prezintă realizări asemănătoare în Marea Britanie, Italia și alte țări. În raportul său, delegatul Institutului Danez de Cercetări Electrice (DELRI), dl. Weldingh a precizat ca în Danemarca există un program amplu de realizări pentru sistem expert, în care sînt implicați atît fabricanți, cît și utilizatori. Este interesant că delegatul S.U.A. a evocat posibilitatea integrării acțiunii în ceea ce azi se numește „Demand-Side Management". Literatura de specialitate foarte recentă (chiar din 1993) menționează aplicații în Japonia, în Taiwan etc., în care, de asemenea, grupe de companii de electricitate în colaborare cu companii specializate în producere de sisteme computerizate au realizat prototipuri și experimentează instalații în curs de comercializare.

După cum se poate observa, o astfel de tehnologie este de mare perspectivă și cu posibilități de aplicare într-un viitor foarte apropiat. Se poate considera că țara noastră, în curs de dezvoltare, ar putea ataca o astfel de problemă complexă, deoarece are o școală de matematicieni recunoscută peste hotare, o industrie electronică incipientă, dar de perspectivă, un corp ingineresc cu experiență în exploatare, o elită de cercetători capabili. Scopul unei asemenea acțiuni ar avea un dublu rol: introducerea în instalațiile noastre a unor tehnologii de vîrf, cu evidente rezultate economice, precum și realizarea unei producții care va avea în mod sigur o piață externă deschisă, la care accesul românilor va fi asigurat numai dacă vor fi competitivi și noi credem într-o asemenea posibilitate. Iată de ce revista ENERGETICA va încuraja orice fel de acțiune, care ar fi îndreptată spre un astfel de țel.

REDACTOR ȘEF,
dr. ing. EUGENIU PAVEL

ANUNȚ

SOCIETATEA ROMÂNĂ DE ENERGETICĂ – SRE organizează în zilele de vineri, 21 septembrie, și sîmbătă, 25 septembrie a.c. acțiunea tehnică științifică „Dialoguri energetice". Amănunte se pot obține din revista Energetica nr. 4, seria A/1993.

* * *

SOCER-Craiova a editat Buletinul de informare nr. 3/1993, cu titlul „Conservarea energiei și protecția mediului înconjurător", apărut în cadrul seriei „Utilizarea eficientă a energiei". Amănunte despre acest volum în revista Energetica numărul 4, seria A/1993.

În lucrare se studiază analitic şi numeric problema pătrunderii cîmpului electromagnetic într-un domeniu conductor cilindric, circular, infinit lung, situat în cîmpul magnetic uniform, variabil în timp, produs de un inductor , coaxial cu domeniul considerat.

Sistemul poate reprezenta modelul teoretic al unui cuptor de încălzire prin inducţie şi studiul acestuia implică rezolvarea unei probleme de cîmp electromagnetic în conductoare masive. Deoarece încadrarea unei instalaţii electrotermice într-un sistem este studiată, de regulă, prin metode specifice circuitelor electrice, deşi instalaţiile respective nu pot fi încadrate riguros în această categorie, lucrarea de faţă are drept scop evaluarea unei posibilităţi de studiere concomitentă a celor două aspecte cuplate.

Pentru cazul particular al unui inductor cu miez cilindric circular plin, s-a dezvoltat un program de calcul numeric al cîmpului electromagnetic şi al unor fenomene asociate (încălziri), care a fost în continuare ataşat unui program existent de analiză a circuitelor electrice, programul RESEL.

Programul de cîmp a fost modificat în mod corespunzător, în vederea cuplării la programul de circuite, pentru simularea corectă a unor regimuri de funcţionare ale instalaţiei.

The paper studies from an analytical and numerical point of view the problem of the penetration of the electromagnetic field into a cylindrical, circular domain of infinite length, situated in a time-variable uniform magnetic field produced by- a coaxial with the considered domain inductor.

The system could represent the theoretical model of an induction heating furnace and this study implies the solving of a field problem for massive conductors.

Whereas the setting of an electrothermal installation within a system is generally achieved by methods specific to electric circuits, although the respective installations cannot be rigorously included in this category, the present paper aims the evaluation of a possibility of concomitant study of the both coupled aspects.

For the particular case of an inductor having a cylindrical homogeneous core, a numerical calculus programme for the electromagnetic field and the associated phaenomena (heatings) has been developed. Whis programme has been subsequently attached to the already existing programme for electrical circuits analysis, the RESEL programme.

Whe field programme has been modified accordingly so it be coupled to the circuit programme in order to correctly simulate the functioning regimes of the installation.

Posibilităţi de studiere a regimurilor de funcţionare ale unor instalaţii de încălzire inductivă folosind metode numerice

Conf. dr. ing. CORNELIA IONESCU,*
ing. IULIAN FLORICEL**

Descriptori : încălzire inductivă, regimuri electrice, metode numerice

* Catedra de Electrotehnică, Universitatea Politehnică Bucureşti

** ICPE Bucureşti

Introducere

Analiza funcționării instalațiilor electrotermice de încălzire prin inducție implică rezolvarea unor probleme de cîmp electromagnetic în conductoare masive.

În aplicațiile tehnice, curenții turbionari induși într-un conductor masiv de către un cîmp magnetic variabil în timp apar, de regulă, în miezurile feromagnetice ale circuitelor magnetice ale mașinilor și aparatelor electrice de curent alternativ, determinînd pierderi suplimentare prin efect Joule-Lenz. Există însă și numeroase aplicații utile : încălzirea prin inducție (topirea) a șarjelor din cuptoarele de inducție, încălzirea unor piese supuse tratamentelor termice, frîne și ambreiaje electromagnetice de inducție, în care se utilizează forțele pe care cîmpul magnetic le exercită asupra conductoarelor parcurse de acești curenți.

Deoarece încadrarea unei instalații electrotermice într-un sistem este studiată îndeosebi prin metodele teoriei circuitelor electrice, deși acestea nu pot fi încadrate în mod riguros în această categorie, lucrarea își propune testarea unei posibilități de studiere a regimurilor de funcționare ale unei instalații de încălzire inductivă, reprezentată de un inductor incluzînd un miez conductor cilindric plin (fig. 1*a*), prin metode care să permită studierea concomitentă a celor două aspecte cuplate : aspectul de cîmp și aspectul de circuit.

În acest scop, programul de calcul numeric al cîmpului electromagnetic a fost atașat unui program existent de analiză a circuitelor electrice, programul RESEL, primul fiind modificat în mod corespunzător, în vederea cuplării, pentru a permite simularea unor regimuri de funcționare ale instalației.

1. Formularea problemei de cîmp

Deoarece, prin apariția curenților turbionari și a cîmpului magnetic suplimentar de reacție produs de acești curenți, repartiția cîmpului magnetic în conductor este influențată, rezolvarea corectă a acestor probleme necesită utilizarea legilor cîmpului electromagnetic și, în particular, a ecuațiilor Maxwell :

$$\text{rot}\ \overline{H} = \overline{y} + \frac{\partial \overline{D}}{\partial t}\ ; \qquad \text{div}\ \overline{B} = 0$$

$$\text{rot}\ \overline{E} = -\frac{\partial \overline{B}}{\partial t}\ ; \qquad \text{div}\ \overline{D} = \rho_v \tag{1}$$

completate cu legile de material :

$$\overline{B} = \mu \overline{H}\ ; \quad \overline{D} = \varepsilon \overline{E}\ ; \quad \overline{y} = \sigma \overline{E} \tag{2}$$

Pentru : $\dfrac{\partial \overline{D}}{\partial t} \ll \overline{y}$ și : $\mu = \text{ct}$; $\sigma = \text{ct}$. (3)

ecuațiile (1) devin :

$$\text{rot}\ \overline{H} = \sigma \overline{E}\ ; \quad \text{rot}\ \overline{E} = -\mu \frac{\partial \overline{H}}{\partial t} \tag{4}$$

Ecuațiile (4) reprezintă ecuațiile fundamentale ale cîmpului electromagnetic în conductoare masive, omogene. Ecuațiile de ordinul al doilea, satisfăcute de vectorii : $\overline{H}(r, t)$; $\overline{E}(r, t)$; $\overline{J}(r, t)$ au forma :

$$\Delta \overline{H} = \sigma\mu \frac{\partial \overline{H}}{\partial t}\ ; \qquad \Delta \overline{E} = \sigma\mu \frac{\partial \overline{E}}{\partial t}\ ;$$

$$\Delta \overline{J} = \sigma\mu \frac{\partial \overline{J}}{\partial t} \tag{5}$$

soluțiile ecuațiilor (5) fiind legate între ele prin ecuațiile de ordinul întîi (4).

Pe suprafețe de discontinuitate se respectă condițiile de conservare :

$$E_{t_1} = E_{t_2}\ ; \ H_{t_1} = H_{t_2}\ ; \ B_{n_1} = B_{n_2}\ ; \ J_{n_1} = J_{n_2} \tag{6}$$

Pentru regimul permanent sinusoidal al cîmpului electromagnetic se utilizează, de regulă, reprezentarea în complex, care în cazul vectorilor se aplică fiecărei componente în parte.

În problemele practice interesează mai ales puterea activă disipată prin efect Joule-Lenz, a cărei valoare instantanee este :

$$P_{j(t)} = \int_{v_\Sigma} \rho J^2(t)\, dv \tag{7}$$

sau conform teoremei energiei electromagnetice :

$$P_{j(t)} = -\frac{\mathrm{d}\, W(t)}{\mathrm{d}t} + P_{\Sigma(t)} \tag{8}$$

unde : $P_{\Sigma(t)} = \oint_\Sigma (\overline{E} \times \overline{H}) \cdot \overline{dA}_{\text{int.}}$ (9) este fluxul de energie electromagnetică instantanee provenit din exteriorul suprafeței Σ (fluxul vectorului Poynting instantaneu).

Transmisiunea de energie în cîmpul electromagnetic constituind un proces specific cîmpului electromagnetic, ireductibil la alte forme de transmisiune de energie, se poate arăta că în regim periodic permanent, deoarece prezintă interes numai valoarea medie pe o perioadă sau un număr întreg de perioade a acestor expresii,

puterea activă disipată prin efect Joule-Lenz în domeniul conductor se poate calcula prin oricare din următoarele două moduri :

$$P_j = \widetilde{P_{j(t)}} = \int_{D_\Sigma} \widetilde{\rho \cdot J^2_{(t)}}\, dv = \int_v \rho \cdot J^2_{ef.} \cdot dv \qquad (10)$$

sau :

$$P_j = \oint_\Sigma \widetilde{(\bar{E} \times \bar{H})}\, d\bar{A}_i = Re\left[\oint_\Sigma (\underline{\bar{E}} \times \underline{\bar{H}}^*)\; dA_i\right] \qquad (11)$$

Interesează deci cunoașterea locală a densității curentului indus $\bar{J}\,(r, t)$ sau a cîmpurilor $\bar{H}(r, t)$ și $\bar{E}\,(r, t)$. Pentru rezolvarea problemei enunțate se adoptă un model teoretic bazat pe următoarele ipoteze simplificatoare :

a) Se consideră un conductor cilindric circular, drept, de rază a, de lungime suficient de mare ($l \gg a$), așa încît efectele de capăt să poată fi neglijate (fig. 1), avînd conductivitatea electrică și permeabilitatea magnetică :

$$\sigma = \sigma(r)\,; \quad \mu = \mu(r)\,;$$

b) Conductorul se află în cîmpul magnetic uniform în absența miezului cilindric al unei bobine inductoare cilindrică circulară, infinit lungă ($l \gg b$), cu N spire parcurse de un curent alternativ sinusoidal :

$$i(t) = \sqrt{2}\, I \sin\, \omega t \qquad (12)$$

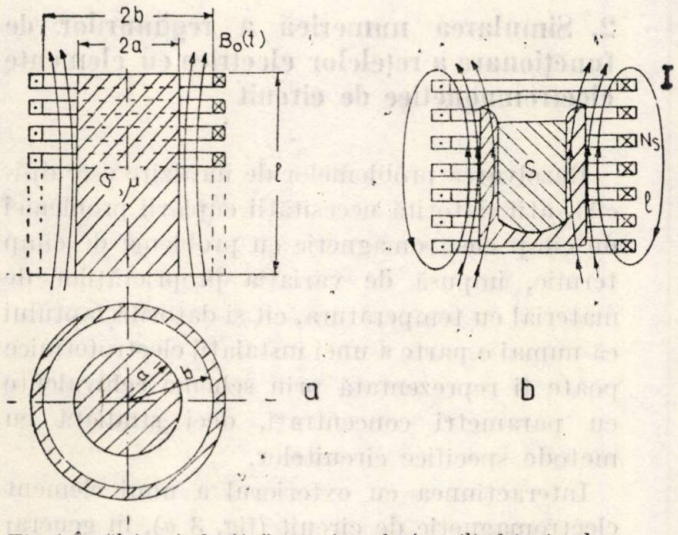


Fig. 1. Încălzirea inductivă a unui conductor cilindric circular : a-secțiune longitudinală și transversală cu indicarea configurației geometrice ; b-modelul teoretic al unui cuptor de inducție fără fier.

c) Se neglijează nelinearitatea proprietăților magnetice, astfel încît toate mărimile se presupun a avea o variație în timp sinusoidală, ceea ce permite reprezentarea în complex.

Modelul teoretic, reprezentat în figura 1 *a*, este deci al unei bare cilindrice circulare infinit extinse, situată coaxial, în interiorul unui inductor cilindric și poate reprezenta modelul simplificat al unui cuptor de inducție cu creuzet (fig. 1 *b*).

Alegînd sistemul de coordonate cilindrice (r, φ, z) din figură, mărimile de cîmp $\bar{H}$ și $\bar{B}$ au numai componente axiale, iar mărimile $\bar{J}$, $\bar{E}$ au numai componente tangențiale, toți acești vectori depinzînd numai de coordonata spațială r și de timp.

Se pune problema studierii pătrunderii cîmpului electromagnetic și a repartiției densității de curent în miezul cilindric al inductorului, precum și a puterii active disipată pe unitatea de lungime, prin efect Joule-Lenz, cunoscînd cîmpul inducției magnetice $B_{0(t)}$ în interiorul bobinei, uniform în absența miezului cilindric :

$$\bar{B}_{0(t)} = \bar{u}_z B_{0(t)} \rightleftarrows \underline{\bar{B}}_0 = \bar{u}_z \cdot \mu_0 \cdot \underline{\bar{H}}_0 = \bar{u}_z \cdot \mu_0 \frac{NI}{l}\,. \qquad (13)$$

Rezolvînd cu metodele cunoscute [3] problema exterioară, unde intensitățile cîmpurilor electrice și magnetice sînt soluții ale ecuațiilor Laplace, se obțin (în condițiile de simetrie enunțate) :

$$\underline{E}_e = -\,\mathrm{j}\frac{\Upsilon^2}{2} H_0 \cdot r\,; \quad \underline{H}_e = \underline{H}_0 = \frac{NI}{l} = \mathrm{ct.} \qquad (14)$$

Rezolvînd problema interioară se obțin intensitățile cîmpurilor E_i și H_i care sînt soluții ale ecuațiilor Helmholtz (5) exprimate în complex.

Problema fiind plan-paralelă-, cu simetrie cilindrică, rezultă :

$$\frac{\mathrm{d}^2 \underline{H}_z}{\mathrm{d}r^2} + \frac{1}{r}\frac{\mathrm{d}\,\underline{H}_z}{\mathrm{d}r} = \underline{\Upsilon}^2 \cdot \underline{H}_z\,;$$

$$\frac{\mathrm{d}^2 \underline{E}_\varphi}{\mathrm{d}r^2} + \frac{1}{r}\frac{\mathrm{d}\,\underline{E}_\varphi}{\mathrm{d}r} - \frac{\underline{E}_\varphi}{r^2} = \underline{\Upsilon}^2 \cdot \underline{E}_\varphi \qquad (15)$$

cu : $$\Upsilon^2 = \mathrm{j}\,\mu\,\omega\,\sigma \qquad (16)$$

Soluțiile ecuațiilor Bessel modificate (15) au forma :

$$\underline{H}_z = \underline{A}_1 \cdot I_0(\underline{\Upsilon} r) + \underline{A}_2 \cdot K_0(\underline{\Upsilon} r)$$

$$\underline{E}_\varphi = -\frac{1}{\sigma}\cdot\frac{\partial \underline{H}_z}{\partial r} = -\frac{1}{\sigma}\cdot$$

$$\cdot\left[\underline{A}_1 \cdot \frac{\mathrm{d}\, I_0(\underline{\Upsilon} r)}{\mathrm{d}r} + \underline{A}_2 \frac{dK_0(\underline{\Upsilon} r)}{dr}\right] \qquad (17)$$

unde : $I_0(\underline{\gamma}r)$ și $K_0(\underline{\gamma}r)$ sînt funcțiunile modificate ale lui Bessel, de prima și a doua speță și de ordinul zero, iar $\underline{A}_1$ și $\underline{A}_2$ constante de integrare.

Deoarece pentru : $r = 0$; $E_\varphi = 0$ și :

$$\lim_{r\to 0}\left(\frac{\mathrm{d}I_0}{dr}\right) = 0\,; \quad \lim_{r\to 0}\left(\frac{\mathrm{d}K_0}{dr}\right) \neq 0,$$

rezultă $\underline{A}_2 = 0$. (18)

Din condiția de continuitate a componentelor tangențiale ale cîmpului magnetic pe suprafața conductorului cilindric, rezultă constanta $\underline{A}_1$. Soluțiile (18) devin :

$$\underline{H}_{z(r)} = \underline{H}_0 \cdot \frac{I_0(\underline{\gamma}\cdot r)}{I_0(\underline{\gamma}\cdot a)} = \underline{H}_0 \frac{ber_0(\alpha r) + \mathrm{j}\, bei_0(\alpha r)}{ber_0(\alpha a) + \mathrm{j}\, bei_0(\alpha a)} \tag{19}$$

$$\underline{E}_{\varphi(r)} = -\frac{\underline{H}_0\underline{\gamma}}{\sigma} \frac{ber_0'(\alpha r) + \mathrm{j}\, bei_0'(\alpha r)}{ber_0(\alpha a) + \mathrm{j}\, bei_0(\alpha a)}. \tag{20}$$

În expresiile (19), (20) ale soluțiilor s-au utilizat funcțiile Bessel reală și imaginară și derivatele lor [6], această exprimare facilitînd calculul numeric exact al puterii active disipate.

Acesta se reduce la evaluarea părții reale a fluxului vectorului Poynting complex prin suprafața laterală a domeniului cilindric conductor din interiorul bobinei. Puterea activă absorbită prin suprafața Σ este :

$$P_{\text{abs.}} = \boldsymbol{R}_e\left\{\oint_{\Sigma} [(\underline{\bar{E}} \times \underline{\bar{H}}^*)\, \overline{dA_i}]_{r=a}\right\}. \tag{21}$$

Utilizînd formule de recurență [6] și efectuînd calculele (anexa 1) expresia puterii active lineice devine :

$$P_1 = \frac{\alpha H_0^2}{\sigma\sqrt{2}} 2\pi a \cdot$$

$$\left[\frac{ber_1(\alpha a)\, ber_0(\alpha a) + bei_1(\alpha a)\, bei_0(\alpha a)}{ber_0^2(\alpha a) + bei_0^2(\alpha a)}\right] \tag{22}$$

Pierderile lineice exacte calculate în funcție de frecvență cu relația (22) sînt redate în diagrama din figura 2. Ele au fost obținute pe baza unui program de calcul în limbaj Pascal, pentru un conductor cilindric circular drept (fig. 1*a*), cu următoarele dimensiuni și caracteristici de material :

$$a = 2\cdot 10^{-2}\,\mathrm{m}\,; \quad \sigma_{cu} = 5{,}88\cdot 10^7\,(\Omega\mathrm{m})^{-1}\,;$$

$$\lambda = 394\ \mathrm{W/mK}\,; \quad l = 2\cdot 10^{-1}\,m\,;$$

$$\mu_r \cong 1\,; \quad \alpha_K = 10\ \mathrm{W/m^2K}. \tag{23}$$

Intensitatea curentului ce străbate bobina inductoare cu $N = 20$ spire s-a considerat $I = 25\cdot 10^3$ A.

$$P_{[50\ \mathrm{Hz}]} = 552{,}7\ \mathrm{W/m}\,; \quad P_{s[50\ \mathrm{Hz}]} = 2{,}2\cdot 10^4\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^3}\cdot$$

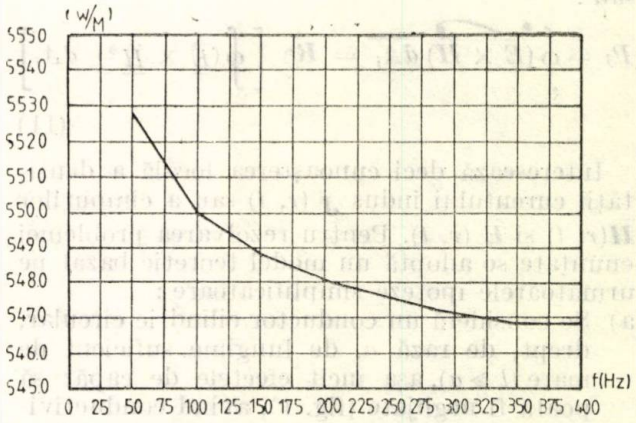


Fig. 2. Variația pierderilor lineice $p = f(f)$.

Raportate la patratul intensității cîmpului magnetic de pe suprafața conductorului aceste pierderi devin :

$$P'_{l[50\ \mathrm{Hz}]} = \frac{P_{l[50\ \mathrm{Hz}]}}{H_0^2} = 0{,}8810^{-10}\ \frac{\mathrm{W/m}}{(A\ \mathrm{sp/m^2})}\cdot$$

2. Simularea numerică a regimurilor de funcționare a rețelelor electrice cu elemente electromagnetice de circuit

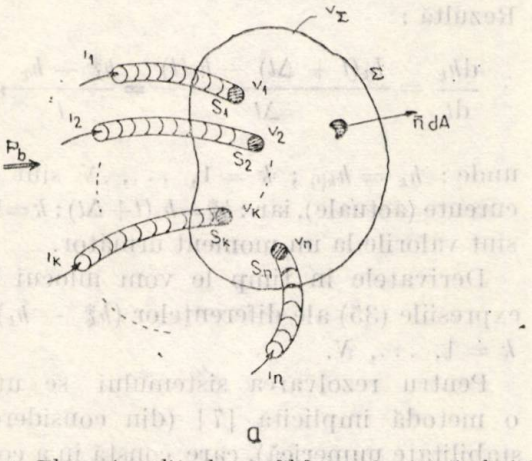
Rezolvarea problemelor de încălzire este dificilă, atît datorită necesității cuplării problemei de cîmp electromagnetic cu problema de cîmp termic, impusă de variația proprietăților de material cu temperatura, cît și datorită faptului că numai o parte a unei instalații electrotermice poate fi reprezentată prin scheme echivalente cu parametri concentrați, deci studiată cu metode specifice circuitelor.

Interacțiunea cu exteriorul a unui element electromagnetic de circuit (fig. 3 *a*), în general multipolar, definit în lucrările [3, 4] poate fi caracterizată în regim variabil în timp în limbajul teoriei circuitelor electrice, chiar dacă în interiorul său există conductoare nefiliforme, conductoare cu pierderi suplimentare, piese neconectate galvanic la bornele de acces și în care se induc curenți turbionari.

Împreună cu teorema de unicitate a soluţiilor ecuaţiilor cîmpului electromagnetic, teorema schimbului de putere pe la bornele unui multipol (teorema Remus Răduleţ) :

$$P_b = \oint_{\Sigma} \bar{E} \times \bar{H}) \, (\bar{n}_{int} \, dA) = \sum_{K=1}^{n} v_K \cdot i_K^{ext} , \qquad (25)$$

are drept consecinţă faptul că, exceptînd condiţiile iniţiale ale teoremei de unicitate, tipice pentru cîmpul electromagnetic, comportarea elementelor de circuit cu efect de cîmp numite „elemente electromagnetice" de circuit, poate fi complet descrisă numai prin tensiuni la borne şi curenţi.



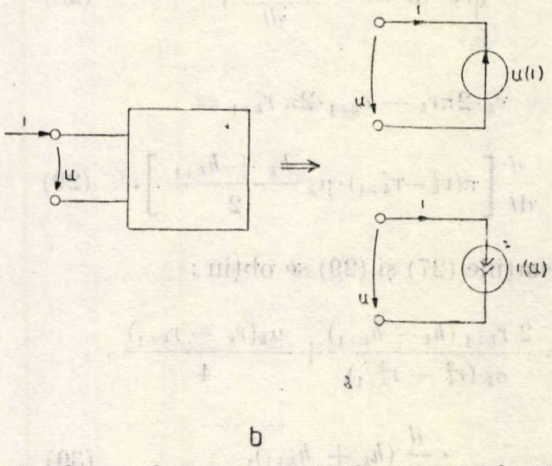


Fig. 3. a. Element multipolar, nefiliform, de circuit electric. b. Element electromagnetic dipolar şi circuitele echivalente ale acestuia.

Elementul dipolar, ca un caz particular de multipol electric frecvent întîlnit în practică, admite un circuit echivalent de forma unei surse de tensiune sau surse de curent (fig. 3*b*). Forma concretă a relaţiei dintre tensiune şi curent $u(i)$ sau $i(u)$ rezultă în urma calculului de cîmp.

Pentru rezolvarea problemelor de cîmp se utilizează metode analitice, cu ecuaţii integrale sau diferenţiale sau metode numerice. În cazul metodelor numerice timpul t se discretizează, iar valorile soluţiilor se caută într-o mulţime discretă de puncte. Aceste puncte reprezintă nodurile unei reţele de discretizare.

Condiţia pentru a putea cupla o problemă de cîmp cu una de circuit este ca elementul electromagnetic de circuit să satisfacă condiţiile impuse de teorema (25).

Problema ce trebuie rezolvată în fiecare caz concret este adăugarea de module la programul de circuite, module care trebuie să determine, prin metodele teoriei cîmpului electromagnetic, relaţia $u = u(i)$ sau $i = i(u)$.

2.1. Rezolvarea numerică a problemei de cîmp electromagnetic şi a celei de cîmp termic

Pentru calcul numeric al cîmpului electromagnetic în exemplul adoptat (vezi fig. 1 *a*) se procedează la divizarea domeniului în coji cilindrice, concentrice, suficient de subţiri, astfel încît mediul conductor să fie considerat omogen în fiecare domeniu de discretizare în parte.

Necunoscutele sînt valorile cîmpului magnetic $h_{k(k=\overline{1,N})}$ la interfeţele domeniilor de discretizare.

Deducerea ecuaţiilor pe modelul discretizat (fig. 4) se face utilizînd legile cîmpului electro-

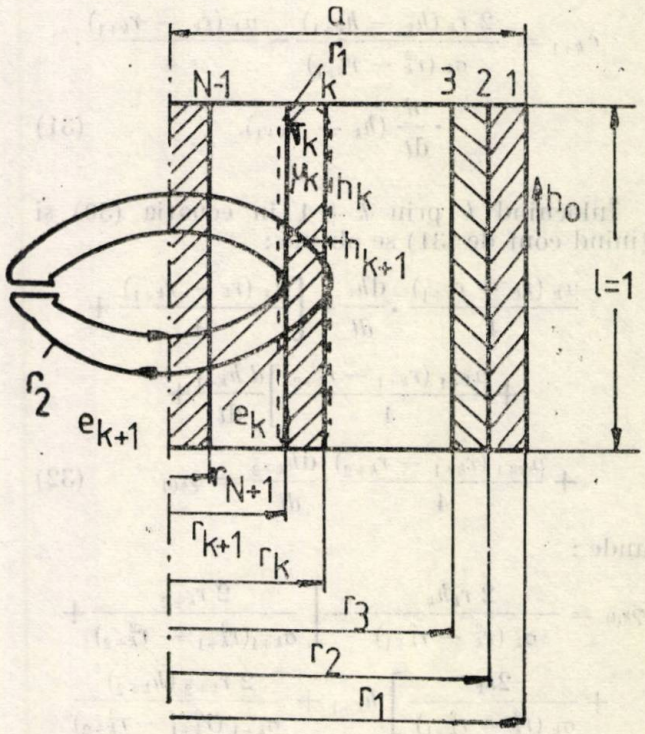


Fig. 4. Reţeaua de discretizare utilizată pentru deducerea ecuaţiilor.

magnetic pe contruri drept-unghiulare Γ_1 (legea circuitului magnetic) și pe curbe circulare Γ_2 (legea inducției electromagnetice) [7].

$$\int_{\Gamma_1} \bar{h} \cdot \overline{ds} = \int_{S_{\Gamma_1}} \bar{j} \cdot \overline{dA}\,; \tag{26}$$

$$h_k - h_{k+1} = \sigma_k \frac{(e_k + e_{k+1})}{2} (r_k - r_{k+1})\,;$$

cu : $$j_k = \sigma_k e_{k,med.}\,; \tag{27}$$

$$\oint_{\Gamma_2} \bar{e} \cdot \overline{ds} = -\frac{d\Phi_{S_{\Gamma_2}}}{dt}\,; \tag{28}$$

$$e_k \cdot 2\pi r_k - e_{k+1} \cdot 2\pi r_{k+1} =$$

$$= \frac{d}{dt}\left[\pi(r_k^2 - r_{k+1}^2) \cdot \mu_k \frac{h_k + h_{k+1}}{2}\right]. \tag{29}$$

Din ecuațiile (27) și (29) se obțin :

$$e_k = \frac{2\, r_{k+1}\,(h_k - h_{k+1})}{\sigma_k\,(r_k^2 - r_{k+1}^2)} + \frac{\mu_k (r_k - r_{k+1})}{4} \cdot$$

$$\cdot \frac{d}{dt}\,(h_k + h_{k+1}), \tag{30}$$

$$e_{k+1} = \frac{2\, r_k\,(h_k - h_{k+1})}{\sigma_k\,(r_k^2 - r_{k+1}^2)} - \frac{\mu_k\,(r_k - r_{k+1})}{4} \cdot$$

$$\cdot \frac{d}{dt}\,(h_k + h_{k+1}). \tag{31}$$

Înlocuind k prin $k+1$ în ecuația (30) și ținînd cont de (31) se obține :

$$\frac{\mu_k\,(r_k - r_{k+1})}{4} \cdot \frac{dh_k}{dt} + \left[\frac{\mu_k\,(r_k - r_{k+1})}{4} + \right.$$

$$\left. + \frac{\mu_{k+1}\,(r_{k+1} - r_{k+2})}{4}\right] \frac{d\,h_{k+1}}{dt} +$$

$$+ \frac{\mu_{k+1}\,(r_{k+1} - r_{k+2})}{4} \cdot \frac{dh_{k+2}}{dt} = \varphi_{k(t)} \tag{32}$$

unde :

$$\varphi_{k(t)} = \frac{2\, r_k h_k}{\sigma_k\,(r_k^2 - r_{k+1}^2)} - \left[\frac{2\, r_{k+2}}{\sigma_{k+1}(r_{k+1}^2 - r_{k+2}^2)} + \right.$$

$$\left. + \frac{2 r_k}{\sigma_k\,(r_k^2 - r_{k+1}^2)}\right] h_{k+1} + \frac{2\, r_{k+2}\,(h_{k+2})}{\sigma_{k+1}\,(r_{k+1}^2 - r_{k+2}^2)}$$

pentru : $k = 1, 2 \ldots (N-2)$ (33)

S-au obținut astfel $(N-2)$ ecuații pentru intensitatea h a cîmpului magnetic. Acest sistem va fi completat cu încă două ecuații :

– pentru $k = 1$; $h_1 = h_0 = \dfrac{N \cdot i}{l}$; (34)

– pentru $k = N$; h_N va fi calculat ulterior.

Metoda diferențelor finite, utilizată pentru rezolvarea problemei în acest caz, constă în înlocuirea ecuațiilor diferențiale ce descriu fenomenul studiat cu ecuații cu diferențe finite formulate numai de valorile necunoscutelor, în cazul de față h_k, pe suprafețele de separație dintre cojile cilindrice de discretizare.
Rezultă :

$$\frac{dh_k}{dt} = \frac{h_k(t + \Delta t) - h_k(t)}{\Delta t} = \frac{h_k^* - h_k}{t}, \tag{35}$$

unde : $h_k = h_{k(t)}$; $k = 1, \ldots, N$ sînt valorile curente (actuale), iar : $h_k^* = h_k(t + \Delta t)$; $k = 1, \ldots, N$ sînt valorile la un moment următor.

Derivatele în timp le vom înlocui deci cu expresiile (35) ale diferențelor $(h_k^* - h_k)$ pentru $k = 1, \ldots, N$.

Pentru rezolvarea sistemului se utilizează o metodă implicită [7] (din considerente de stabilitate numerică), care constă în a considera în ecuația (33) toate valorile intensității h a cîmpului magnetic, la treapta de timp $(t + \Delta t)$. Rezultă :

$$(\varphi_k^*) = (\varphi_k)_{n-h^*}$$

Înlocuind în relațiile anterioare $\varphi_k \to \varphi_k^*$ rezultă un sistem tridiagonal care se rezolvă cu metoda „dublului parcurs" [7].

În urma pătrunderii cîmpului electromagnetic în piesă au loc pierderi de putere datorită efectului Joule-Lenz, care pentru o coajă cilindrică de discretizare are forma :

$$p_{j(t)}^{(k)} = \sigma_k\, e_{k,med.}^2 = \sigma_k \left(\frac{e_k + e_{k+1}}{2}\right)^2 = \left(\frac{h_k - h_{k+1})^2}{\sigma_k \cdot d_k^2}\right) \tag{36}$$

unde : $$d_k = r_k - r_{k+1}. \tag{37}$$

Integrînd pe volumul unei coji cilindrice se obține :

$$P_{j(t)}^{(k)} = \int_{v_\Sigma} p_{j(t)}\, dv = \pi\,(r_k^2 - r_{k+1}^2) \cdot l \cdot \frac{(h_k - h_{k+1})^2}{\sigma_k d_k^2} \tag{38}$$

Însumînd pentru cele $(N-1)$ coji cilindrice de discretizare se obţine puterea transformată în căldură în întregul domeniu :

$$P_{j(t)} = \sum_{k=1}^{N-1} P_{j(t)}^{(k)} = \sum_{k=1}^{N-1} \pi \cdot l \cdot (r_k^2 - r_{k+1}^2) \frac{(h_k - h_{k+1})^2}{\sigma_k \cdot d_k^2} \cdot \tag{39}$$

Pe aceeaşi reţea de discretizare, formată din coji cilindrice concentrice, se studiază şi variaţia în profunzime a cîmpului termic, ţinînd cont de variaţia proprietăţilor de material cu temperatura, variaţii ce conduc la modificarea valorilor mărimilor de cîmp electromagnetic. Un astfel de studiu poate fi efectuat numai cu metode numerice şi în acest scop s-a utilizat o metodă iterativă [7].

Pentru simplificare s-a considerat în calcule numai variaţia conductivităţii electrice cu temperatura, iar variaţia entalpiei ca o funcţie liniară de temperatură.

Deoarece constanta de timp de difuzie termică este mult mai mare decît constanta de timp electromagnetică, o altă ipoteză simplificatoare constă în posibilitatea ca în fiecare moment în parte problema de cîmp electromagnetic să fie tratată ca o problemă de regim permanent. Evoluţia în timp a fenomenelor electromagnetice se prezintă, în acest mod, ca o succesiune de regimuri permanente.

2.2. Descrierea programului

S-a utilizat un program în limbaj „C" ce poate fi rulat pe orice calculator compatibil IBM, în sistemul de operare MS-DOS 3* fiind posibil, în acest mod, studiul influenţei frecvenţei asupra pătrunderii cîmpului electromagnetic şi termic în domeniul conductor masiv considerat (vezi fig. 1*a*). Modelului teoretic idealizat pentru calculul cîmpului electromagnetic îi corespunde o soluţie analitică uşor calculabilă (pct. 1); continuăm totuşi studiul printr-o metodă numerică care prezintă interes mai ales în cazul materialelor neomogene sau neliniare.

Pentru a facilita extinderea metodei şi pentru aceste cazuri (medii neomogene) s-au considerat materiale cu proprietăţi diferite în fiecare tranşă de discretizare în parte (σ_k, μ_k).

Reţeaua de discretizare necesară calculului cîmpului este definită automat de program (anexa 2), în funcţie de cazul studiat, modul de calcul putînd fi urmărit pe schema bloc din figura 5, în care se disting : blocul de citire a datelor, blocul de realizare a reţelei de discretizare, blocul de iniţializări.

Pentru exemplul de calcul enunţat anterior (pct. 1) s-au realizat curbele de variaţie în timp şi în spaţiu (funcţie de raza conductorului) ale mărimilor de cîmp, temperaturii şi pierderilor Joule-Lenz, pentru diferite valori ale frecvenţei (50 ; 500 ; 5000 Hz) (fig. 6*a*, *b*, *c*). Din evaluarea pierderilor lineice obţinute în acest mod rezultă o bună concordanţă cu cele obţinute cu metoda exactă (pct. 1), şi anume o diferenţă procentuală de (10 — 12)%. De aici rezultă posibilitatea

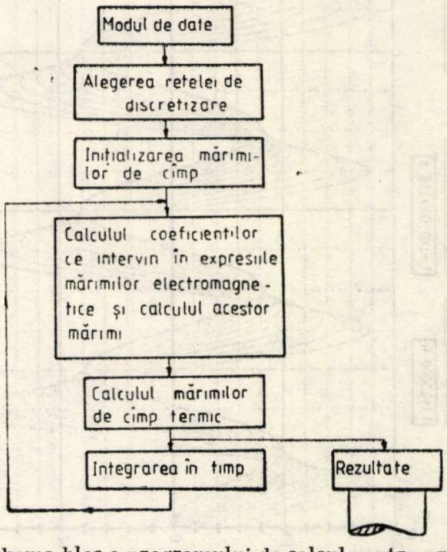


Fig. 5. Schema bloc a programului de calcul pentru problema de cîmp electromagnetic cuplată cu cea de cîmp termic.

extinderii acestei metode de calcul al pierderilor şi pentru configuraţii care nu mai permit un calcul analitic exact, metoda de calcul numeric enunţată reprezentînd singura posibilitate de investigare.

Diagrama reprezentată în figurile 6*a*, 6*b*, 6*c* confirmă existenţa unui efect pelicular slab, mediu şi net, mărimile de cîmp electromagnetic şi termic fiind refulate către periferia secţiunii transversale a condensatorului, cu atît mai mult cu cît frecvenţa este mai mare (pentru μ, σ constante). Existenţa unor temperaturi ridicate numai la suprafaţa conductorului este utilă în cazul unor tratamente termice (căliri).

3. Cuplarea problemei de cîmp la programul de circuit

Programul de circuit folosit (RESEL) este un program utilitar destinat mai ales simulării regimurilor tranzitorii în reţelele electrice şi este descris în lucrările [1, 2, 7], de către autorul lui.

Pentru problema analizată a fost necesar ca, în vederea cuplării programului de cîmp la cel de circuit, să se efectueze anumite modificări în programul de cîmp. Acestea au avut în vedere schemele echivalente ale bobinei cu miez cilindric plin, în regim permanent şi în regim tranzitoriu, reprezentate în figurile 7*a*, *b*, *c*, *d*.

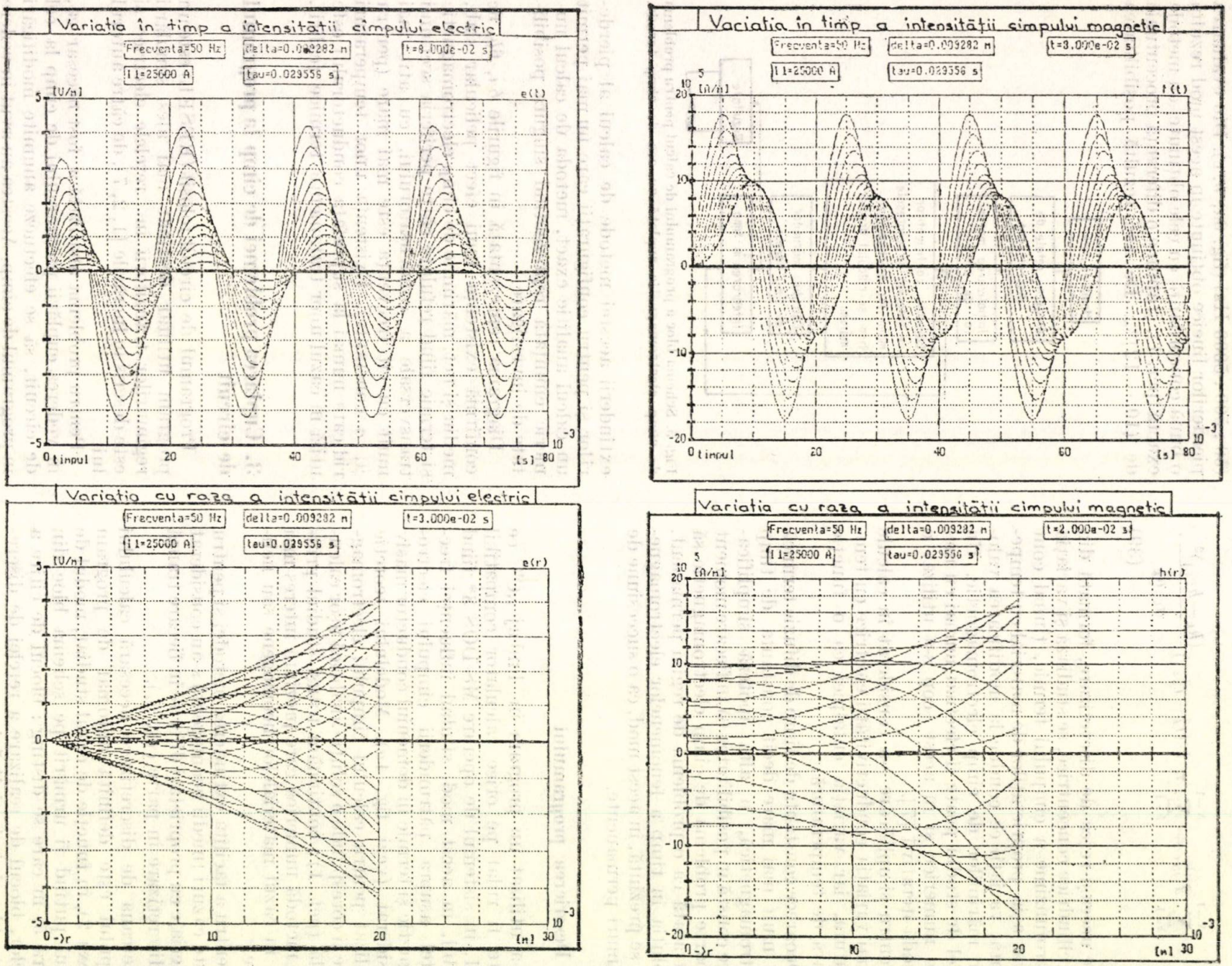
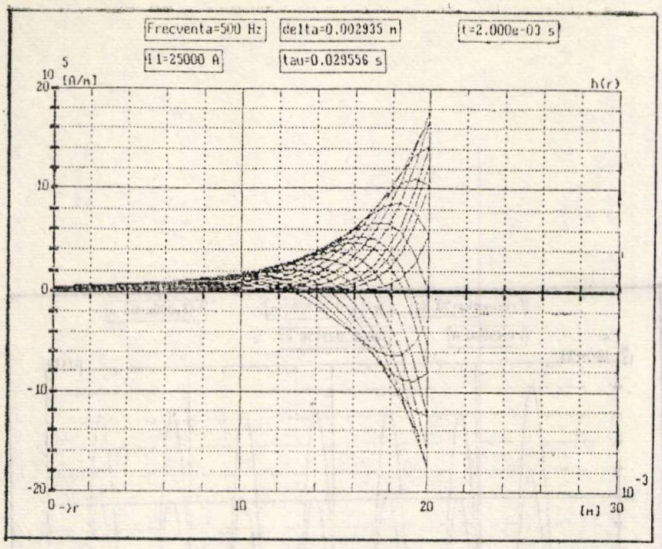


Fig. 6. a. Variaţiile în timp şi cu raza ale intensităţilor cîmpurilor electric şi magnetic într-un conductor cilindric plin, din cupru, la frecvenţa de 50 Hz.



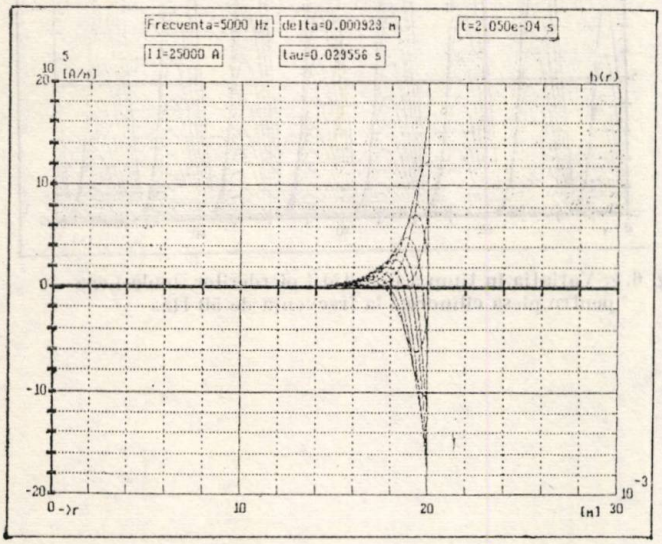
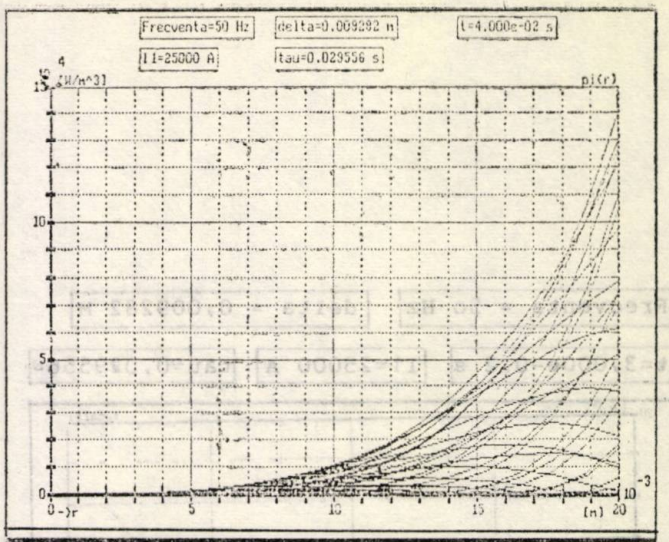
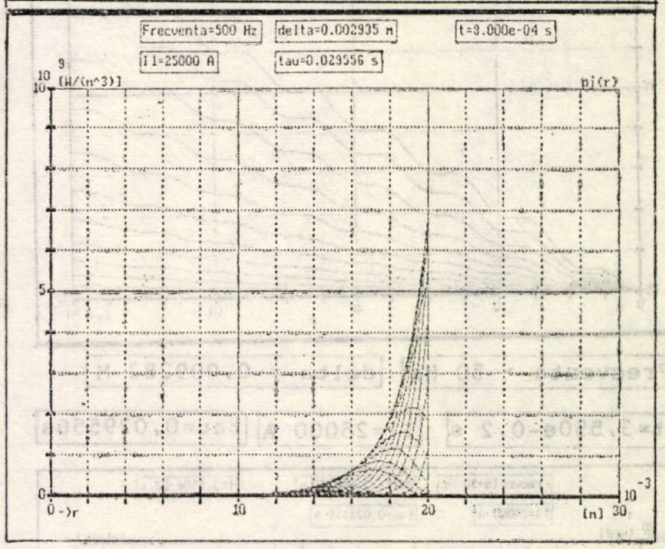


Fig. 6. b. Variația intensității cîmpului magnetic cu raza piesei cilindrice pentru f = 500 Hz și f = 5000 Hz.





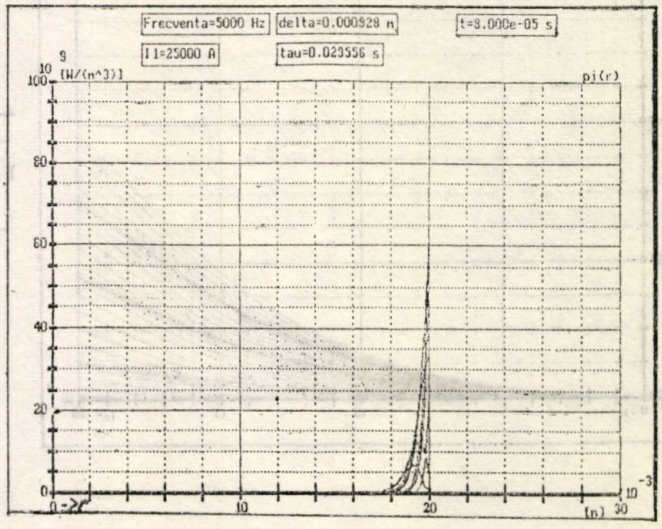
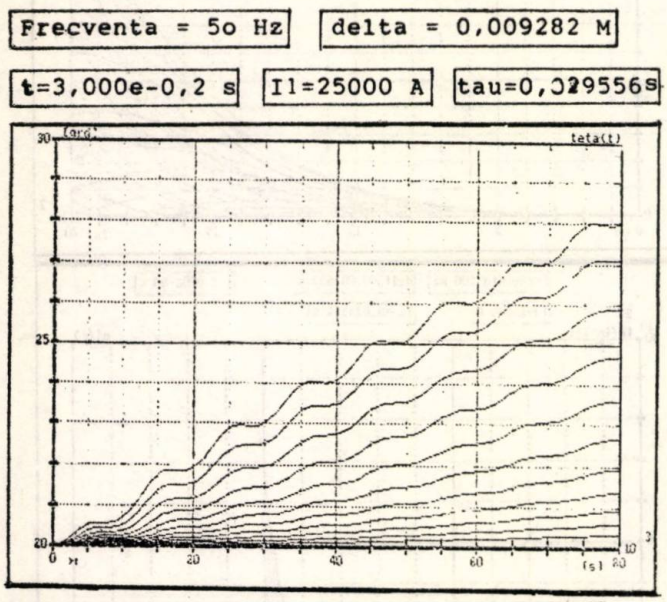


Fig. 6. c. Variația densității pierderilor Joule-Lenz cu raza piesei cilindrice pentru f = 50 Hz, 500 Hz și 5000 Hz.



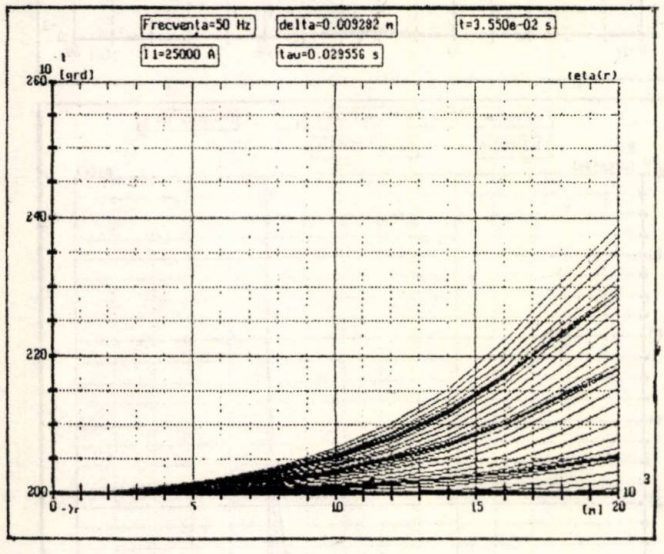


Fig. 6. d. Variația în timp și cu raza a temperaturii piesei cilindrice pentru $f = 50$ Hz.

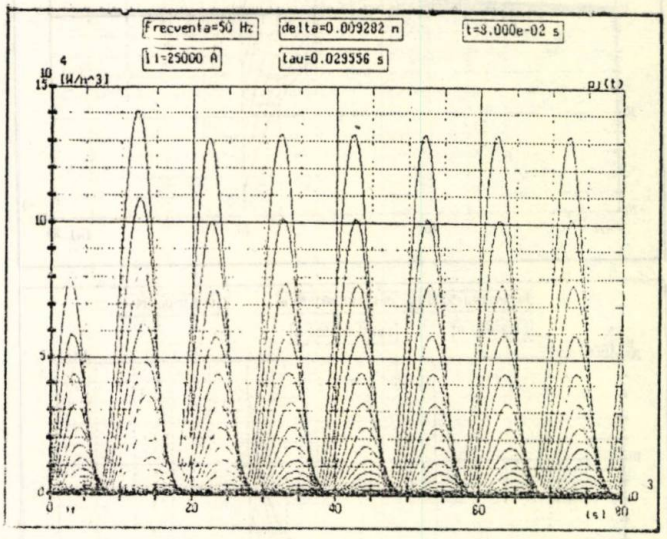


Fig. 6. e. Variația în timp a densității pierderilor Joule-Lenz pentru piesa cilindrică la frecvența de 50 Hz.

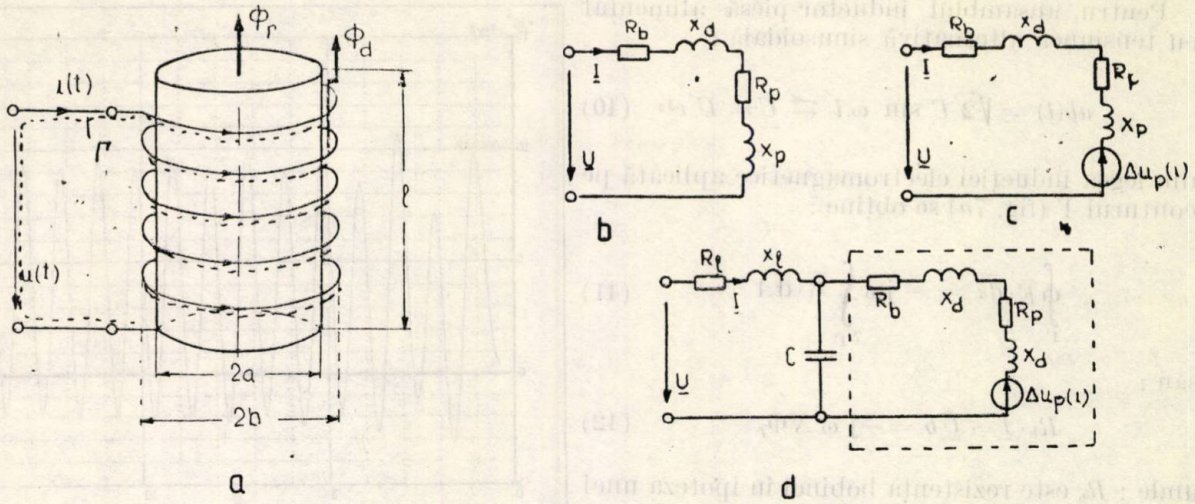


Fig. 7. a. Modelul teoretic al elementului electromagnetic de circuit de formă cilindrică circulară; b. Schema echivalentă pentru simularea regimului permanent; c. Schema echivalentă pentru simularea regimului tranzitoriu; d. Schema echivalentă completă incluzînd linia de alimentare și condensatoarele C pentru îmbunătățirea factorului de putere.

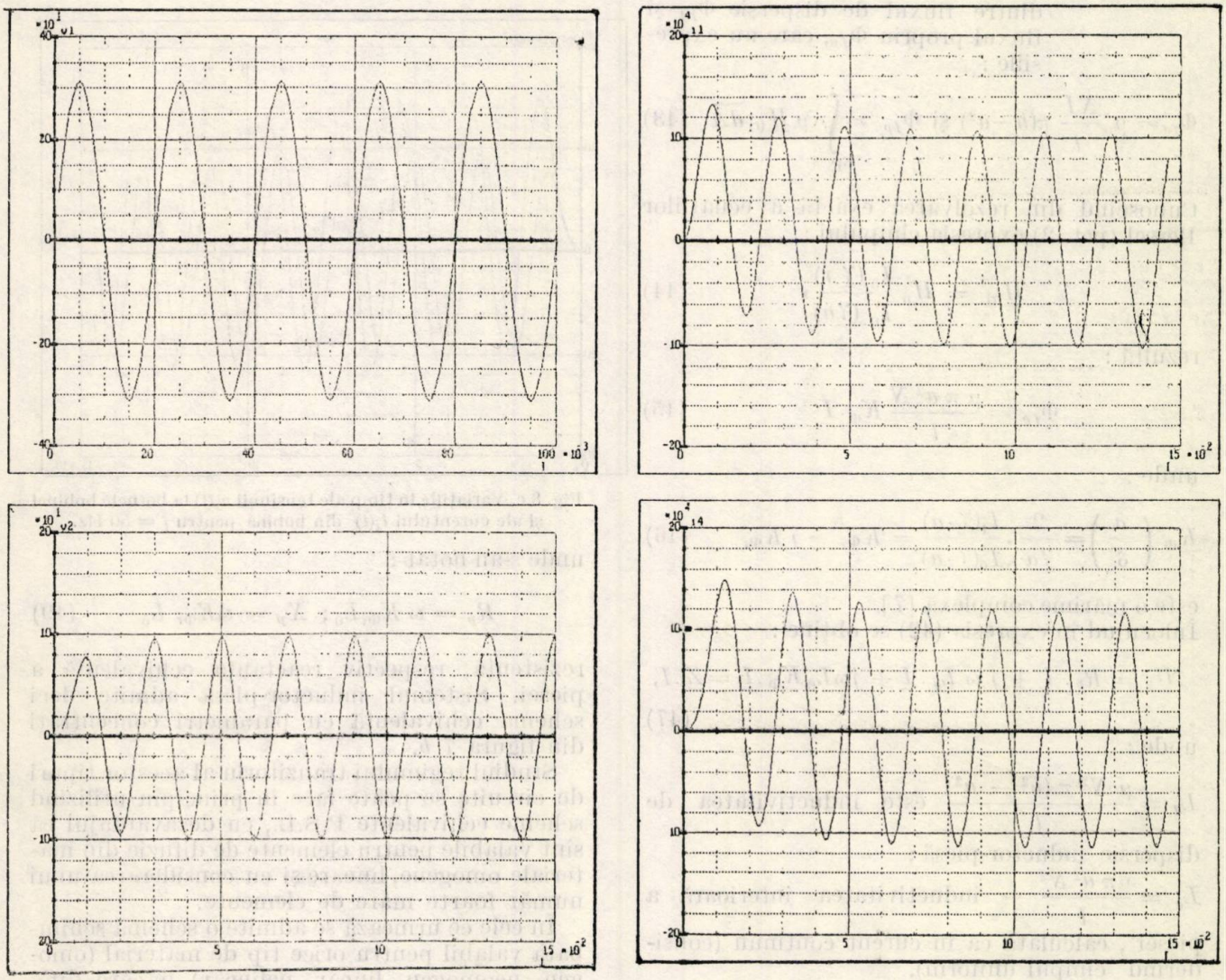


Fig. 8. a. Variațiile în timp ale tensiunii $v_1(t)$ la bornele sursei, $v_2(t)$ la bornele bobinei, intensității $i_1(t)$ a curentului în circuitul principal și intensității $i_4(t)$ a curentului în bobină la $f = 50$ Hz.

Pentru ansamblul inductor-piesă alimentat cu tensiunea alternativă sinusoidală :

$$ub(t) = \sqrt{2}\, U \sin \omega t \rightleftarrows \underline{U} = U e^{j\theta} \quad (40)$$

din legea inducției electromagnetice aplicată pe conturul Γ (fig. 7*a*) se obține :

$$\oint_{\Gamma} \overline{E} \cdot \overline{ds} = -j\omega \int_{S_\Gamma} \overline{B} \cdot \overline{dA} \quad (41)$$

sau :

$$R_b \cdot \underline{I} - \underline{U}b = -j\,\omega N \Phi_f \quad (42)$$

unde : R_b este rezistența bobinei în ipoteza unei densități de curent constantă pe secțiunea conductorului ;

Φ_f — fluxul magnetic fascicular, ca sumă dintre fluxul de dispersie Φ_{fd} și fluxul propriu Φ_{fp}, care au expresiile :

$$\Phi_{fd} = \mu_0 \frac{NI}{l} \pi(b - a^2) \text{ și } \Phi_{fp} = \int_{S_\Gamma} \cdot \mu \underline{H}_{(r)} \overline{dA} \quad (43)$$

Cunoscînd din rezolvarea exactă a ecuațiilor Bessel (pct. 2) expresia cîmpului :

$$\underline{H}_{(r)} = \underline{H}_0 \frac{I_0(\underline{\gamma}\, r)}{I_0(\underline{\gamma} a)}, \quad (44)$$

rezultă :

$$\Phi_{fp} = \frac{\mu \pi a^2 N}{l} \underline{K}_\Phi \cdot \underline{I} \quad (45)$$

unde :

$$\underline{K}_\Phi \left(\frac{a}{\delta} \right) = \frac{2}{\underline{\gamma} a} \cdot \frac{I_1(\underline{\gamma} \cdot a)}{I_0(\underline{\gamma} \cdot a)} = K_{\Phi r} - j\, K_{\Phi i} \quad (46)$$

este o mărime complexă [7].
Înlocuind în expresia (42) se obține :

$$\underline{U}_b = R_b \cdot \underline{I} + j\,\omega L_d \cdot \underline{I} + j\omega L_0 \underline{K}_\Phi \cdot \underline{I} = \underline{Z} \cdot I, \quad (47)$$

unde :

$L_d = \dfrac{\mu N^2 \pi (b^2 - a^2)}{l}$ este inductivitatea de dispersie inductor-piesă ;

$L_0 = \dfrac{\mu \pi a^2 N^2}{l}$ — inductivitatea interioară a piesei , calculată ca în curent continuu (considerînd cîmpul uniform).

Rezultă : $\underline{U}_b = (R_b + j\, X_d)\, \underline{I} + (R_p + j\, X_p)\, \underline{I}$, (48)

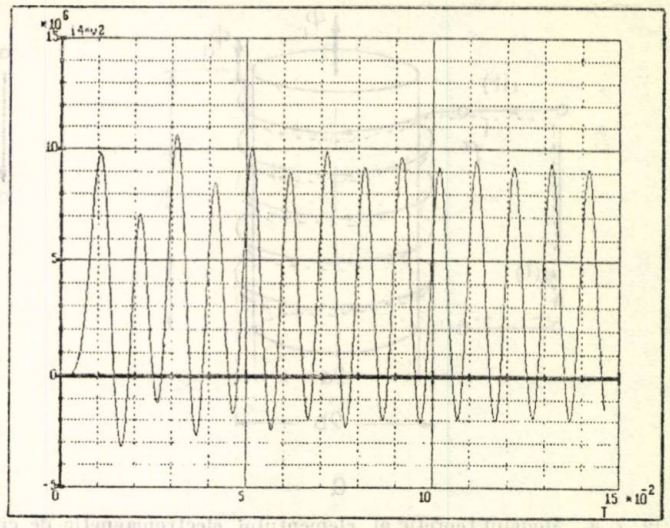


Fig. 8. b. Variațiile de timp ale puterii $p_b(t) = v_4(t) i_4(T)$ primită pe la borne de bobină pentru $f = 50$ Hz.

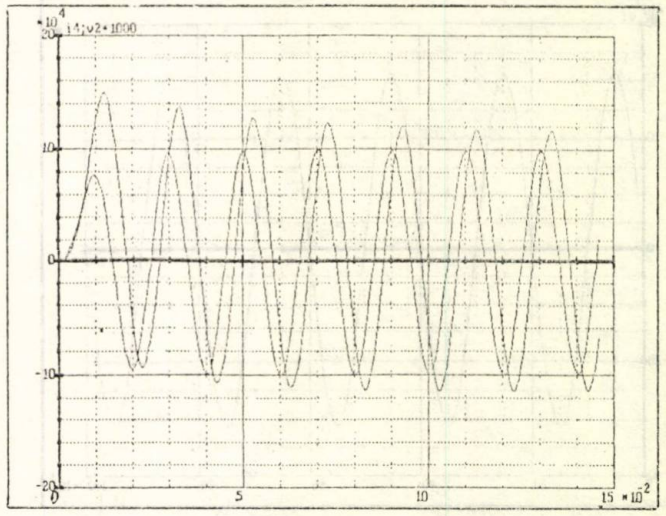


Fig. 8.c. Variațiile în timp ale tensiunii $v_2(t)$ la bornele bobinei și ale curentului $i_4(t)$ din bobină pentru $f = 50$ Hz.

unde s-au notat :

$$R_p = \omega K_{\Phi i} L_0 ; \; X_p = \omega K_{\Phi r} L_0 \quad (49)$$

rezistența, respectiv reactanța echivalentă a piesei. Sistemul inductor-piesă admite deci schema echivalentă cu parametri concentrați din figura 7 *b*.

Studiul regimului tranzitoriu al acestor tipuri de circuite se poate face în principiu utilizînd scheme echivalente P.S.L., cu dezavantajul că sînt valabile pentru elemente de difuzie din materiale omogene, lineare și cu considerarea unui număr foarte mare de elemente.

În cele ce urmează se admite o schemă schimbată valabil pentru orice tip de material (omogen, neomogen, linear, nelinear), în care diferența dintre regimul tranzitoriu și cel permanent este „sugerată" doar de o sursă de tensiune

comandată $\Delta u_{p(i)}$ (fig. 7 *c*). În cazul în care $\Delta u_{p(i)}$ tinde către zero, se regăsesc rezultatele obținute pentru regimul permanent și schema echivalentă va fi cea din figura 7 *b*.

Modificările ce trebuie efectuate în programul de cîmp, în vederea cuplării la programul de circuit [1, 2] sînt redate în anexa 3. Rulările realizate au pus în evidență regimul tranzitoriu ce apare la cuplarea unui inductor cu miez cilindric circular plin, la o tensiune alternativă sinusoidală considerînd succesiv frecvențele tensiunii de alimentare 50, 500, 5000 Hz (fig. 7). În diagramele din figura 8*a*, *b* sînt redate : variațiile în timp ale următoarelor mărimi de circuit : $v_1(t)$ — tensiunea sursei ; $v_2(t)$ — tensiunea la bornele bobinei ; $i_1(t)$ — intensitatea curentului în circuitul principal ; $i_4(t)$ —intensitatea curentului în bobină ; $v_4 i_4 = p_b(t)$ — puterea primită pe la borne de bobina inductoare.

ANEXA 1

CALCULUL PUTERII ACTIVE LINEICE

$$P_{abs} = Re\left\{\frac{2\pi a \cdot 1 \underline{\gamma} H_0^2}{\sigma}\left[\frac{ber_0'(\alpha a)+j\,bei_0'(\alpha a)}{ber_0(\alpha a)+j\,bei_0(\alpha a)}\right]\right\} \quad (a)$$

unde : $\underline{\gamma} = (1+j)$; $\underline{\gamma}^2 = j\,\omega\,\mu\,\sigma = \omega\,\mu\,\sigma\,e^{j\frac{\pi}{2}}$ (b)

Utilizînd formulele de recurență [6] pentru funcțiile Bessel modificate reală și imaginară de speța I și de ordinul ν :

$$z\,ber_\nu' z = \nu\,ber_\nu z + \frac{z}{\sqrt{2}}(ber_{\nu+1} z + bei_{\nu+1} z)$$

$$z\,bei_\nu' z = \nu\,bei_\nu z - \frac{z}{\sqrt{2}}(ber_{\nu+1} z - bei_{\nu+1} z) \quad (c)$$

se obține pentru : $\nu = 0$ și $z = \alpha a$

$$ber_0'(\alpha a) = \frac{1}{\sqrt{2}}[ber_1(\alpha a) + bei_1(\alpha a)]$$

$$bei_0'(\alpha a) = -\frac{1}{\sqrt{2}}[ber_1(\alpha a) - bei_1(\alpha a)] \quad (d)$$

Puterea activă specifică va fi :

$$P_S = \frac{P_{abs}}{2\pi a l} = \frac{\alpha H_0^2}{\sigma\sqrt{2}} \cdot Re \cdot \left\{\frac{(1+j)\,\{[ber_1(\alpha r)+bei_1(\alpha r)] - j\,[ber_1(\alpha r) - bei_1(\alpha r)]\}^2}{ber_0(\alpha a) + j\,bei_0(\alpha a)}\right\}. \quad (e)$$

Notăm : $\begin{cases} A = ber_1(\alpha a) + bei_1(\alpha a) \\ B = ber_1(\alpha a) - bei_1(\alpha a) \end{cases}$ (f)

Efectuînd calculele se obține :

$$P_S = \frac{\alpha H_0^2}{\sigma\sqrt{2}} Re\left\{\frac{(1+j)(A-jB)[ber_0(\alpha a) - j\,bei_0(\alpha a)]}{ber_0^2(\alpha a) + bei_0^2(\alpha a)}\right\} \quad (g)$$

În final puterea activă lineică este :

$$P_l = \frac{\alpha H_0^2}{\sigma\sqrt{2}} \cdot 2\pi a\left[\frac{ber_1(\alpha a)\cdot ber_0(\alpha a) + bei_1(\alpha a)\cdot bei_0(\alpha a)}{ber_0^2(\alpha a) + bei_0^2(\alpha a)}\right]. \quad (h)$$

ANEXA 2

(cu privire la descrierea programului de cîmp)

Modul de desfășurare a calculului cuprinde în esență următoarele [1, 2, 7] :

- Pentru folosirea datelor problemei, scrise într-un fișier separat, funcția ,,void data (void)'' deschide acest fișier și citește valorile respective, limbajul ,,C'' neavînd alte facilități în acest scop (funcții READ sau WRITE) .
- Discretizarea radială se realizează prin intermediul funcției ,,void discretiz (void)'' care calculează numărul de puncte de discretizare și razele tranșelor de discretizare, în funcție de adîncimea de pătrundere.
- Prin intermediul funcției ,,void init (void)'' se atribuie variabilelor de cîmp electromagnetic și termic valorile lor inițiale : la momentul t = 0, mărimile de cîmp sînt nule, iar temperatura piesei este egală cu 20°C.
- Calculul mărimilor de cîmp electromagnetic și termic este realizat de funcția ,,void sistem (void)''. Se rezolvă sistemele ecuațiilor de cîmp cu metoda ,,dublului parcurs''.

ANEXA 3

Programul de cîmp descris devine un modul pentru programul de circuit, deci rolul funcției ,,void main (void)'' va fi preluat de către programul de circuit. Legătura dintre cele două programe se realizează prin intermediul funcțiilor : ,,-init- ( )'' și ,,-step- ( )''. Prima realizează inițializarea variabilelor de cîmp și este apelată la începutul simulării ; a doua inițializează variabilele de cîmp pentru pasul curent, cu valorile calculate la pasul de timp precedent și este apelată la fiecare pas de calcul.

În plus, în program apar două funcții noi care definesc sursele comandate de tensiune sau de curent sau cele care comandă comutatoarele eventual prezente. În acest caz, aceste funcții noi sînt : funcția ,,flux (*i*) '', care calculează fluxul magnetic prin piesă, și funcția ,, U_{cc} (*i*)'', care calculează valoarea tensiunii sursei comandate în curent din figura 7 *c*.

Pentru finalizarea studiului, programului de cîmp i s-a atașat la început un program scris pentru compilatorul programului Resel care conține [1, 2, 7] :

— un program principal (date de material, de circuit, se calculează R_{vob}, L_d, C pentru schema din figura 7 *d*) ;

— descrierea circuitului prin indicarea nodurilor, a laturilor și a elementelor ce apar pe fiecare latură a circuitului ;

— descrierea inductorului ;

— rezultatele cerute programului de calcul ;

— discretizarea în timp, prin indicarea timpului final de rulare și a pasului de timp.

Concluzii

În lucrare se prezintă un mod nou de abordare a studiului fenomenelor termice și electromagnetice care au loc la încălzirea inductivă. Pentru simularea numerică a proceselor tranzitorii care apar în rețelele electrice conținînd ,,elemente

electromagnetice" de circuit se testează pe un exemplu de calcul, posibilitatea de a cupla calculul cîmpului, cu un material logic de simulare a circuitelor [1, 2].

În principiu, prezența elementelor de circuit cu efect de cîmp poate fi simulată prin surse comandate, cu condiția ca programul de simulare să poată recunoaște asemenea surse.

Pentru comparație, au fost redate și rezultatele calculului exact al pierderilor lineice, pentru exemplul de calcul considerat, obținîndu-se concluzii utile în practica curentă. De asemenea, graficele trasate pentru mărimile de cîmp permit obținerea unor imagini calitative și cantitative ale fenomenelor electromagnetice și termice ce au loc în mediul conductor masiv considerat, legate în special de efectul pelicular.

În rezumat, metoda de calcul numeric al pierderilor propusă în lucrare, asociată analizei riguroase a distribuției spațiale și temporale a cîmpului electromagnetic și termic, permite obținerea unor răspunsuri problemelor puse de fenomenele energetice localizate în structuri conductoare și în particular magnetice omogene sau neomogene. Studiul problemelor de încălzire a circuitelor magnetice ale mașinilor și aparatelor electrice, precum și a unor structuri specifice instalațiilor electrotermice industriale, constituie una dintre cele mai importante aplicații practice ale acestei metode.

BIBLIOGRAFIE

[1] Flueraşu, Cz. *Simulation interactive sur ordinateur personnel des régimes transitoires dans les réseaux électrique. Première partie : Description du programme.* În : Rev. Roum. Sci. Techn. Electr. Énerg., 35, 1, Bucureşti, 1990.

[2] Flueraşu, Cz. *Simulation interactive sur ordinateur personnel des régimes transitoires dans les réseaux électriques. Deuxième partie : Algorithmes principaux.* În : Rev. Roum. Sci. Tehn. Électr. Énerg., 35, 4, Bucureşti 1990.

[3] Răduleţ, R., Mocanu, C. I. *Contribuţie la teoria cuptoarelor de inducţie fără fier.* În : St. cercet. energ., Ed. Academiei R.P.R., Bucureşti 1963, 13.

[4] Răduleţ, R., Timotin, A., Ţugulea, A. *Introduction des paramèters transitoires dans l'étude des circuits électriques, linéaires avec éléments massifs et pertes supplémentaires.* În : Rev. Roum. Sci. Techn. Électr. Énerg. 16, 4, Bucureşti, 1966.

[5] Bossavit, A. *Raport sur l'état actuel des travaux de simulation numérique d'un four à induction destiné au rechauffage de demi-produits sidérurgiques.* Note E.D.F.-H.I. 1993/02 (1975)

[6] Jamke, Emde, Lösch. *Tafeln Höherer Funktionen* B. G., Teubner Verl., Stuttgart, 1960.

[7] Flueraşu, Cz., Flueraşu, C. *Simulation numérique des régimes transitoires des réseaux électriques avec éléments électromagnétiques de circuit, avec le programme Resel.* În : Rev. Roum. Sci. Techn. Electr. Energ. 36, 3, p. 325—334, Bucureşti, 1991.

(Primit la 8 iunie 1992, acceptat la 14 mai 1993)

ERATĂ

Tabelul 2 de la articolul „Experiența românească privind comportarea în exploatare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune", autor dr. ing. Miron Laurențiu Goia, apărut în revista Energetica numărul 3, seria B/1993, a apărut fără notele explicative. Facem corectura necesară : 1 — zăpadă, chiciură, polei, vînt ; 2 — viscol, vînt, furtună ; 3 — (1 + 2) suprasolicitări mecanice datorate fenomenelor naturale ; 4 — alte prilejuri ; 5 — total general (3 + 4).

Impactul liniilor electrice aeriene asupra mediului înconjurător

Prof. dr. ing. DORIN CRISTESCU *,
as. ing. RADU RUSAN **

În ultimii 10—12 ani prezența liniilor de înaltă tensiune în spațiul uman a fost tot mai contestată. Lucrarea acoperă un gol în literatura tehnicăr română, introducînd conceptul de „culoar al liniei", diferit de spațiul geometric ocupat și de „culoar perturbat al liniei" prin care se precizează, într-o accepție probabilistică, zona în care noxele electromagnetice de 50 Hz și de înaltă frecvență depășesc anumite limite.

Folosirea conceptului de cîmp magnetic de 50 Hz, utilizat în lucrările întîlnite în literatura de specialitate, reprezintă una dintre primele citări românești în domeniu.

Toate elementele menționate sînt aplicate, de asemenea, la soluțiile de linii compacte analizate în România.

In the last 10—12 years, the high voltage lines existence within human space has been more and more contested. The paper tries to complete a blank in the Romanian technical literature by introducing the concept of "line corridor" which is different from the proper geometric area and from "the line disturbed corridor". The concept is meant to specify the area where the high frequency and 50 Hz electromagnetic noxious agents exeed some given limits.

Using the concept of magnetic field of 50 Hz in the specialty literature papers is one of the first Romanian quotations in the field.

All the mentioned elements are also applicable to the compact lines solutions studied in Romania.

Introducere

Trecînd în revistă principalii factori de care trebuie ținut cont pentru reducerea impactului LEA asupra mediului înconjurător, în marea majoritate a țărilor ierarhizarea acestora ar fi :

1 — reducerea terenului ocupat (afectat) ;
2 — posibilele efecte biologice ale cîmpului electromagnetic de frecvență industrială (50Hz) ;
3 — impactul vizual ;
4 — interferența radio — TV ;

Observație : Există numeroase țări în care reducerea impactului vizual ocupă primul loc în ierarhia de mai sus.

Analizînd succint acești factori din punctul de vedere al semnificației și al posibilităților de a-i influența se pot menționa următoarele :

1. Reducerea terenului ocupat

Noțiunea de drept de trecere (culoar, „right of way" sau „droit de passage") al liniei este larg folosită, dacă nu chiar universală. Totuși, așa

* Facultatea de Energetică, Universitatea Politehnică, București
** Super Electro S.R.L., București

cum se poate desprinde ușor din considerațiile de mai jos, semnificația (mărimea) și rolul său variază mult de la o țară la alta. Astfel, în timp ce în țările fostei URSS culoarul LEA este văzut ca o zonă de protecție sanitară, fiind constituit din zona în care intensitatea cîmpului electric la sol depășește 1kV/m, în marea majoritate a țărilor rolul culoarului se reduce la departajarea suprafeței necesare pentru construcția, funcționarea și întreținerea liniei.

În ceea ce privește lățimea culoarului (valoare care caracterizează practic complet culoarul), există țări unde ea este precizată explicit ca o valoare numerică funcție de tensiunea liniei (de exemplu toate liniile de 765 kV realizate de AEP în SUA au un culoar de trecere de 61 m); în alte țări lățimea culoarului se duce analitic (de exemplu considerînd proiecția fazelor extreme pe sol la deviația maximă la care se adaugă o distanță de siguranță electrică), în timp ce în unele țări nu se precizează nici o valoare pentru lățimea culoarului.

În general, accesul public este permis, cu unele restricții, în zona culoarului și de cele mai multe ori se consideră că proprietarii terenului nu sînt afectați în mod deosebit sau vizibil de prezența LEA.

Totuși, o serie de utilizări ale spațiului aflat în imediata vecinătate a liniei suferă unele restricții, care fără să fie majore reduc valoarea pămîntului, motiv pentru care în țările dezvoltate industrial proprietarii terenului sînt, în general, compensați băneșteș pentru acceptarea acestor restricții și a eventualelor neajunsuri provocate de construcția, funcționarea și întreținerea LEA.

În numeroase țări nu sînt permise construcții permanente în interiorul culoarului. În Italia și Spania se acceptă, în anumite cazuri, construcții industriale în interiorul culoarului, în timp ce în țări ca Franța, Germania, Marea Britanie nu există nici o restricție în acest sens, putînd fi construite chiar locuințe sub LEA (cu respectarea distanțelor minime de apropiere).

Există țări în care oprirea sau parcarea autovehiculelor în interiorul culoarului este interzisă, sau doar limitată, cu scopul de a evita descărcările neplăcute ce ar putea apărea cînd o persoană atinge autovehiculul, care datorită anvelopelor este relativ bine izolat electric față de sol.

În unele țări se are, în plus, în vedere că aceste descărcări ar putea duce la aprinderea vaporilor de benzină. Astfel, există țări în care prezența stațiilor de benzină este interzisă în interiorul culoarului sau la mai puțin de 60 m de LEA cu tensiuni nominale mai mari sau egale cu 400 kV, spre deosebire de alte țări care nu au specificate nici un fel de reglementări în acest sens. Într-o singură țară construcția stațiilor de benzină este condiționată de intensitatea cîmpului electric la sol, și anume este interzisă în zone unde cîmpul depășește 2 kV/m.

De fapt, între culoarul unei linii care, în sensul cel mai larg al noțiunii, constituie spațiul din vecinătatea unei LEA afectat de unele restricții și terenul realmente ocupat de LEA este greu de făcut o delimitare clară, fiind necesar a se analiza practic fiecare situație particulară, pentru a putea face o apreciere obiectivă.

În afară de suprafața ocupată de fundația stîlpilor și de coridoarele de siguranță necesar a fi realizate la trecerea prin păduri, situații de ocupare a terenului aproape unanim acceptate, enumerăm în continuare alte cîteva exemple de afectare a terenului:

— imposibilitatea de a mai realiza o serie de construcții în imediata vecinătate a LEA: case, construcții industriale. Astfel, reducerea culoarului mărește zona unde există posibilitatea de a face mai tîrziu alte investiții fără nici o restricție, ceea ce susține interesul actual, pe plan mondial, pentru liniile compacte;

— terenul din imediata vecinătate a fundației care, în condițiile lucrării mecanizate a pămîntului, impune efectuarea unor manevre suplimentare, și ca urmare rămîne de multe ori, într-o măsură mai mare sau mai mică, necultivat, sau, în cel mai bun caz, cultivat cu o productivitate sensibil micșorată;

— necesitatea de a lua în cazul vecinătăților LEA cu alte structuri conductoare o serie de măsuri suplimentare pentru a evita posibilitatea unei electrocutări datorate cuplajului electromagnetic. Un exemplu tipic în acest sens este cazul rețelelor de irigații, care în anumite condiții pot căpăta potențiale periculoase, indiferent că sînt subterane (afectate doar de cuplajul inductiv) sau supraterane (afectate atît de cuplajul capacitiv, cît și de cel inductiv).

În prezent în țara noastră există următoarea definiție pentru noțiunea de culoar: „Culoarul unor linii aeriene de energie electrică este spațiul situat în lungul liniei, în care se impun restricții din punctul de vedere al coexistenței liniei cu elementele naturale, obiectele, obiectivele, instalațiile, construcțiile etc., situate în traseul liniei conform paragraf 1.37 din PE 104/85.

Definiția de mai sus nu poate avea un caracter practic, neavînd precizate explicit dimensiunile culoarului. Pentru a putea cuantifica avantajele aduse de liniile compacte din punctul de vedere al reducerii culoarului, în lucrarea de față se va utiliza pentru determinarea lățimii culoarului relația prevăzută de normele românești pentru determinarea coridorului de siguranță la trecerea unei LEA prin pădure:

$$T = L + 2 * S + 2 * a, \quad [\text{m}] \quad (1)$$

unde: L este proiecția pe orizontală a conductoarelor (fazelor) aflate în pozițiile extreme;

S — deviaţia orizontală maximă a unui conductor (fază) dependentă de temperatură, sarcină şi vînt maxim ;

a — distanţa de siguranţă electrică funcţie de tensiunea liniei.

Semnificaţia lui T, L, S şi a rezultă şi din figura 1.

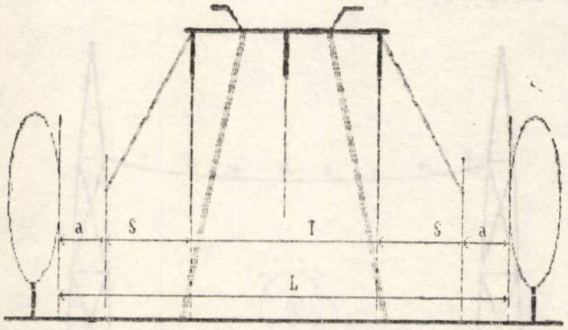


Fig. 1. Determinarea lăţimii culoarului de trecere al LEA.

2. Posibilele efecte biologice ale cîmpului electromagnetic

Existenţa unor efecte biologice ale cîmpului electromagnetic generat de LEA este o chestiune care în ultimii 20 de ani s-a bucurat de multă atenţie. Dacă în primii ani cercetările au fost predominant canalizate spre efectele induse de cîmpul electric, în ultimii ani efectele induse de componenta magnetică au stat în centrul preocupărilor.

În general, astăzi se acceptă că efectele biologice ale cîmpului electromagnetic generat de LEA sînt minore şi că nu prezintă o semnificaţie patologică ; cu toate acestea problema posibilelor influenţe continuă să preocupe opinia publică, specialişti din domeniul protecţiei sanitare (Organizaţia Mondială a Sănătăţii-OMS), pe cei care construiesc LEA de înaltă tensiune şi, bineînţeles, populaţia din vecinătatea instalaţiilor electroenergetice. Există în lume ţări în care din cauza acestui ultim factor se pot construi noi linii numai cu foarte mare dificultate.

2.1. Cîmpul electric

Este bine cunoscut că sub o linie electrică aeriană de înaltă tensiune intensitatea cîmpului electric se află în general în plaja 1—10 kV/m. Presupunînd conductoarele liniei rectilinii cîmpul electric devine plan paralel, deci este suficient să fie calculat într-un plan transversal pe axa liniei — rezultatele acestui calcul poartă numele de profil transversal al cîmpului electric. Un astfel de profil, la 1,5 m deasupra solului, este prezentat în figura 2 pentru o linie de 400 kV dublu circuit cu stîlpi Sn400232 denumită DONAU. Este de semnalat că un astfel de calcul este simplist şi dă o informaţie relativ săracă despre aspectul cîmpului. În cazul cînd se doreşte o reprezentare corectă trebuie făcut un calcul tridimensional în care să se ţină cont de forma reală a conductoarelor în deschidere şi de apropierea de stîlp.

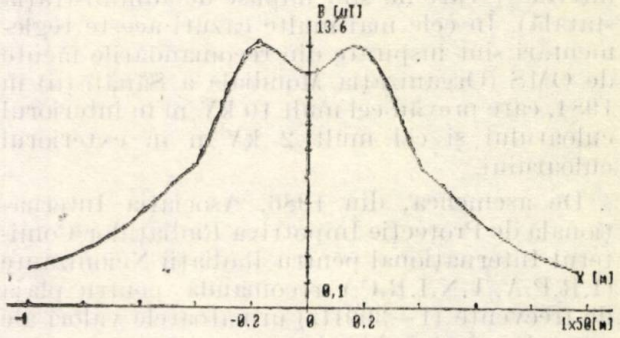


Fig. 2. Profil transversal al cîmpului electric sub LEA 400 kV DC Donau.

Tabelul 1

Ţara	Intensitate cîmp electric la sol [kV/m]			
	Expunere public		Expunere profesională	
Ţările fostei U.R.S.S.	20 15 10 5 1 05	zone cu acces dificil zone nepopulate intersecţii cu drumuri zone populate aglomeraţii urbane clădiri rezidenţiale	25	de la 20 la 25 expunerea este limitată la 10 min/zi pentru E între 5—20 kV/m expunerea se limitează la (50/E—2) ore/zi
Cehia şi Slovacia	15 10 1	intersecţii cu drumuri de categoria 1 şi 2 în afara culoarului	15	
Polonia	10 1	zone cu clădiri, spitale, şcoli etc	15	se admit 20 kV/m în cazuri speciale
Germania	20		30	
Japonia	3	zone frecventate des		

În prezent există doar cinci ţări care au standarde naţionale privind valoarea cîmpului electric la sol (tabelul 1).

Din aceste ţări primele patru au introdus standarde din consideraţii de protecţie sanitară

(după părerea multora insuficient fondate ştiinţific), iar Japonia pentru a evita microdescărcările neplăcute în special de la umbrelă.

În S U A există şase state care au reglementări statale care impun că în afara culoarului de trecere cîmpul electric la sol să nu depăşească 1—3 kV/m.

Într-o multitudine de alte ţări există, la nivelul celor care se ocupă de realizarea LEA, reglementări de proiectare privind valoarea maximă a cîmpului electric la sol în interiorul şi/sau în exteriorul culoarului (reglementări interne — care nu sînt impuse de administraţia statală). În cele mai multe cazuri aceste reglementări sînt inspirate din recomandările făcute de OMS (Organizaţia Mondială a Sănătăţii) în 1984, care prevăd cel mult 10 kV/m în interiorul culoarului şi cel mult 2 kV/m în exteriorul culoarului.

De asemenea, din 1986, Asociaţia Internaţională de Protecţie Împotriva Radiaţiilor/Comitetul Internaţional pentru Radiaţii Neionizante (I.R.P.A./I.N.I.R.C.) recomanda pentru plaja de frecvenţe (1—300Hz) următoarele valori ale cîmpului electric la sol :

— expunere public —termen scurt (ore/zi) — 10 kV/m ;
— expunere continuă (24 ore/zi) = locuinţele să fie construite numai acolo unde la 1,5 m de casă şi la 1,5 m deasupra solului cîmpul nu depăşeşte 2 kV/m ;
— expunere profesională — cel mult 2 ore la 20 kV/m ;
— cel mult 8 ore la 10 kV/m.

Un aspect important legat de cîmpul electric este efectul indirect al cîmpului — cercetări efectuate în ultimii ani [14] sugerează că micile descărcări ce apar atunci cînd corpul uman constituie calea de descărcare a unor corpuri metalice izolate faţă de sol şi aflate în cîmp electric sau chiar cînd corpul uman aflat în cîmp electric şi izolat prin încălţăminte faţă de sol se descarcă la contactul cu un corp metalic aflat la potenţialul pămîntului nu sînt chiar aşa benigne cum se considera pînă acum, ducînd la alterări cromozomiale ale unor componente sanguine. De altfel, există ţări unde valoarea maximă a curentului din aceste mici descărcări este limitată. În acest sens se poate menţiona valoarea de 5 mA impusă din 1977 de NESC (National Electric Safety Code) în SUA -valoare preluată de practica de proiectare dintr-o serie de alte ţări şi care este posibil să fie coborîtă în următorii ani.

În ceea ce priveşte modul de interacţiune a cîmpului electric cu organismele vii — efectul direct — trebuie semnalat că datorită faptului că organismele vii sînt corpuri bune conducătoare de electricitate (conducţie ionică) un cîmp electric exterior va face să apară sarcini electrice pe suprafaţa organismului viu şi curenţi electrici de slabă intensitate în interiorul organismului viu. Aşa cum se vede în figura 3, în cazul unui om alfat în picioare sub o linie electrică aceşti curenţi circulă între extremităţile corpului (de la cap spre picioare în alternanţă pozitivă).

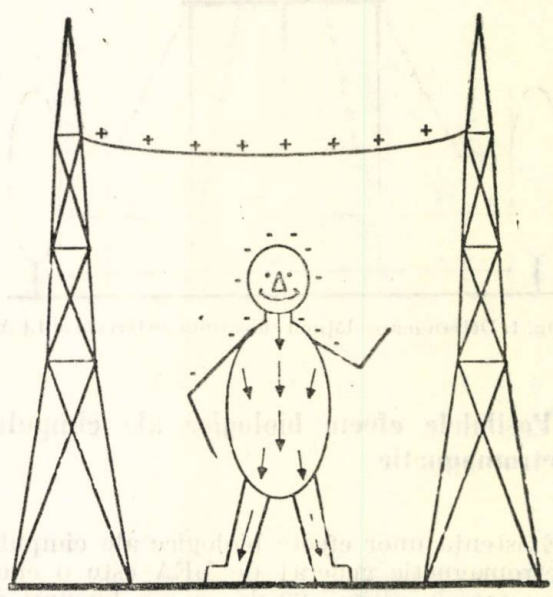


Fig. 3. Reprezentarea schematică a sarcinilor superficiale şi curenţilor induşi de cîmpul electric.

Cîmpul electric în interiorul organismelor vii este deosebit de redus. În cazul unui cîmp electric exterior electrostatic cîmpul în interiorul corpului este nul, existînd doar sarcini superficiale.

În prezent se fac eforturi deosebite de cercetare, utilizînd manechine sau modele matematice, pentru a se determina densitatea acestor curenţi induşi în diferite puncte din interiorul corpului uman. Rezolvarea acestei probleme cu acurateţe este deosebit de dificilă datorită neomogenităţii ţesuturilor vii din punctul de vedere al conductivităţii electrice. Cele mai mari densităţi de curent apar în zona capului şi în zona inghinală a picioarelor. Există studii biologice făcute pe ţesături care sugerează că începînd cu 10 mA/m^2 se pot constata modificări biologice.

2.2. Cîmpul magnetic

Cîmpul magnetic s-a bucurat, iniţial, de mai puţină atenţie din punctul de vedere al posibilelor efecte biologice, deoarece cîmpul magnetic la sol generat de LEA (<20 μT) era sensibil mai mic decît cîmpul magnetic terestru (40—50 μT).

Spre deosebire de cîmpul magnetic terestru care are un caracter continuu, cîmpul magnetic generat de instalațiile de transport și distribuție are un caracter alternativ, pulsînd cu frecvența rețelei. Această deosebire poate justifica interesul pentru investigarea eventualelor efecte biologice generate de cîmpul magnetic alternativ (50 Hz), deoarece dacă se acceptă că lumea vie este bine adaptată cîmpului magnetic terestru (apariția materiei vii și evoluția ei s-a făcut în prezența acestui cîmp) nu este sigur că materia vie, în intimitatea ei, este la fel de bine adaptată și pentru expunerea în cîmp magnetic alternativ, chiar dacă acesta este de inducție mai mică decît a cîmpului magnetic terestru.

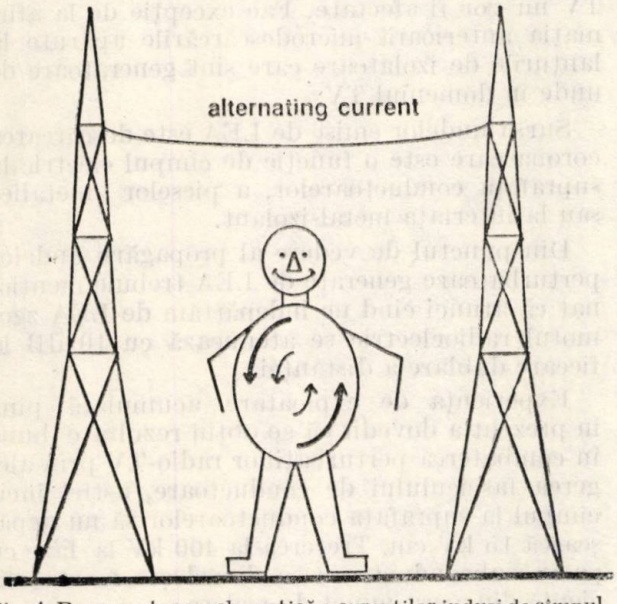


Fig. 4. Reprezentarea schematică a curenților induși de cîmpul magnetic în corpul uman.

Expunerea în cîmp magnetic variabil în timp face să apară în interiorul corpurilor vii curenți electrici care parcurg trasee circulare (bucle închise) în interiorul corpului (fig. 4). Curenții induși sînt mai mari spre exteriorul corpului și cu atît mai mici cu cît ne aflăm mai aproape de centrul corpului. Și în acest caz determinarea riguroasă a mărimii curenților este deosebit de complexă datorită neomogenității conductivității electrice a diferitelor țesături.

Astfel, cercetările epidemiologice întreprinse de Wertheimer și Leeper (1979) au găsit o mică creștere a cancerului la copii corelată cu expunerea în cîmpuri magnetice datorate sistemului casnic de distribuție a energiei electrice. Un studiu ulterior al acelorași autori (1982) a extins aceste observații, incluzînd și cancerul adulților. Constatările lor despre cancerul copilăriei nu au fost confirmate de studiul lui Fulton (1980) pe copii cu leucemie în Rhode Island.

De asemenea, un studiu al suedezului Tomenius (1982) limitat la 716 cazuri de cancer apărute în copilărie confirmă constatările lui Wertheimer și Leeper privind existența corelației boală — locuințe care au o linie electrică aeriană de 200 kV la mai puțin de 150 m depărtare și locuințe cu un cîmp magnetic măsurat de 0,3 μT sau mai mult.

În acest context, în 1986 erau în discuție, în mai multe țări, limite pentru cîmpul magnetic maxim la care poate fi expusă o persoană. Astfel, în R.F.G. se preconiza o valoare de 5 mT, în timp ce în U.R.S.S. se aveau în vedere 5,3 mT pentru o expunere de maximum o oră și 1,3 mT pentru expuneri de 8 ore.

Pentru structura de linie căreia i s-a prezentat profilul transversal al cîmpului electric se prezintă în figura 5 profilul transversal al cîmpului magnetic pentru cazul cînd ambele circuite sînt parcurse de curenți de 1000 A (și în acest caz conductoarele au fost presupuse rectilinii). Se observă că limitele pentru cîmp magnetic luate în discuție sînt mult mai mari decît cîmpul magnetic la sol și nu vor putea influența decît reglementările privind lucrul sub tensiune, deoarece în imediata apropiere a conductoarelor se întîlnesc valori mai mari ale cîmpului magnetic.

Dennis (1985), lucrînd la National Radiological Protection Board (NRPB) în Anglia, sugerează adoptarea unei limite de 1,7 mT pentru expunere profesională în cîmp magnetic.

OMS a elaborat în 1985 un document conținînd criteriile privind legătura sănătate — cîmp magnetic, care a constituit mai tîrziu și baza pentru recomandarea făcută de IRPA/INIRC, care prevede ca urmare a expunerii în cîmp magnetic variabil în timp densitatea curentului indus să nu depășească 10 mA/m² valoare despre care s-a vorbit deja la punctul 2.1. Pentru această valoare o serie de cercetări biologice au pus în evidență o largă varietate de alterări la nivel celular sau tisular.

Această restricție la 10 mA/m² poate conduce, funcție de mărimea corpului viu, compoziția și orientarea sa, la impunerea unor limite de cîmp de 200 μT sau chiar mai mici.

OBSERVAȚIE. 10 mA/m² este o valoare mult sub nivelurile permise în unele țări pentru densitatea curentului de scurgere prin mînă de la aparatura electrică portabilă.

Chiar dacă se consideră că în prezent nu există o bază științifică larg acceptată pentru a impune niște limite de cîmp electromagnetic, o serie de cercetări din ultimii ani privind efectul cîmpului electromagnetic la nivel celular dovedesc posibilitatea existenței unor efecte și este destul de probabil că tendința de a impune limite pentru cîmpul electromagnetic va evolua cel puțin din dorința de adoptare a unei atitudini preventive pînă la clarificarea fermă a interacțiunii cîmp electromagnetic-materie vie.

3. Impactul vizual

Impactul vizual sau conservarea peisajului este o chestiune care afectează în special zonele suburbane şi cele de interes turistic. Inserarea unei linii într-un peisaj este dificilă deoarece :

— stîlpii au un caracter artificial şi modern, ce simbolizează un anumit tip de societate (societatea industrială) ;

— dimensiunile lor depăşesc frecvent pe cele ale elementelor din mediul rural (arbori, diferite construcţii, turnuri de biserici).

Dacă peisajul în care linia urmează a fi inserată are un caracter „natural", „istoric" sau „tradiţional" caracterul de modernitate industrială adus de realizarea LEA contrastează cu caracterul iniţial al peisajului, compromiţîndu-l în bună măsură.

Măsurile de reducere a impactului vizual trebuie să fie îndreptate în două direcţii importante :

a) alegerea judicioasă a traseelor, ceea ce înseamnă :

— evitarea zonelor de interes turistic, zone care au un caracter tradiţional, istoric, sau constituie monumente ale naturii, parcuri sau rezervaţii naturale ;

— adecvarea traseelor la microgeografia zonelor străbătute : văi, versanţi, pante etc. ;

— limitarea măririi numărului de LEA prin utilizarea unor trepte de tensiune mai ridicate şi a unor LEA multicircuit pentru a evita aglomerarea LEA, în special în zonele suburbane ;

b) reducerea impactului vizual al stîlpilor, ceea ce impune :

— micşorarea înălţimii stîlpilor (chiar şi prin reducerea deschiderii) ;

— realizarea unor stîlpi supli, cu coronament redus şi o estetică cît mai bună.

Reducerea impactului vizual este practic necuantificabilă din punct de vedere monetar şi, aşa cum se poate observa din cele cîteva căi de reducere a impactului vizual enumerate mai sus, implică, în general, investiţii mai mari în realizarea liniei, datorită :

— creşterii lungimii traseelor LEA ;

— creşterii numărului de stîlpi datorită micşorării deschiderilor ;

— creşterii costului izolaţiilor (pentru realizarea unor stîlpi compacţi este necesară uneori utilizarea unor izolaţii „neconvenţionale"-console electroizolante, distanţoare electroizolante între faze).

Din aceste motive, deşi problema „impactului vizual" este la origine de natură estetică, rezolvarea ei implică abordarea unei cercetări interdisciplinare complexe.

4. Interferenţa radio-TV

Undele emise de LEA sînt captate de antene în acelaşi timp cu undele create de emiţătoarele pentru radio sau televiziune. Dacă cele două unde ajunse la antenă sînt în aceeaşi plajă de frecvenţă şi nivelul lor este apropiat atunci recepţia radio sau TV va fi perturbată. Se consideră că o diferenţă de 30 dB între semnalul util şi zgomotul radioelectric al liniei este suficientă pentru ca perturbarea să nu fie resimţită.

În general, undele emise de LEA sînt de frecvenţă relativ joasă şi, în principiu, nu pot perturba emisiunile cu frecvenţe mai mari de 30 MHz, adică marea majoritate a emisiunilor TV nu vor fi afectate. Fac excepţie de la afirmaţia anterioară microdescărcările apărute la lanţurile de izolatoare care sînt generatoare de unde în domeniul TV.

Sursa undelor emise de LEA este descărcarea corona care este o funcţie de cîmpul electric la suprafaţa conductoarelor, a pieselor metalice sau la interfaţa metal-izolant.

Din punctul de vedere al propagării undelor perturbatoare generate de LEA trebuie menţionat că atunci cînd ne îndepărtăm de LEA zgomotul radioelectric se atenuează cu 10 dB la fiecare dublare a distanţei.

Experienţa de exploatare acumulată pînă în prezent a dovedit că se obţin rezultate bune în combaterea perturbaţiilor radio-TV prin alegerea fasciculului de conductoare, astfel încît cîmpul la suprafaţa conductoarelor să nu depăşească 15 kV/cm. Trecerea la 400 kV la faze cu patru subconductoare se dovedeşte foarte eficientă din acest punct de vedere.

Dacă această măsură se dovedeşte insuficientă trebuie crescut nivelul semnalului util al emiţătoarelor radio — TV sau depărtarea antenelor de recepţie de sursa perturbatoare, aceasta însemnînd, însă, investiţii suplimentare.

Este de subliniat variaţia însemnată a semnalului perturbator în diverse condiţii meteorologice. Astfel, în regim de ploaie intensă faţă de timp frumos nivelul perturbator creşte cu 17—20 dB. În aceste condiţii de ploaie intensă pentru recepţionarea la acelaşi nivel calitativ a unui acelaşi semnal util antena receptorului trebuie să se depărteze de linie la o distanţă de patru ori mai mare decît cea existentă pe timp frumos, deci culoarul perturbat electromagnetic în înaltă frecvenţă îşi creşte lăţimea de patru ori. În acest sens o analiză economică poate introduce o noţiune probabilistică de risc de înrăutăţire a recepţiei pentru o anumită durată de timp.

5. Zgomotul acustic

Oricine s-a găsit în vecinătatea unei LEA de înaltă tensiune știe că zgomotul produs de funcționarea ei (în special pe timp frumos) este redus (aproape imperceptibil). În cazul cînd sîntem plasați imediat sub conductoare este suficient să ne îndepărtăm cîțiva metri pentru ca zgomotul produs de linie să fie acoperit de diversele zgomote existente în mediul ambiant. De altfel, pe timp frumos, nivelul zgomotului acustic se diminuează cu circa 3 dB la fiecare dublare a distanței față de linie.

Cu toate acestea, există astăzi țări (în special S.U.A.) în care zgomotul acustic a devenit criteriul de dimensionare a fasciculului de conductoare. Aceasta se datorește faptului că perturbațiile radio-TV pot fi corectate local prin creșterea nivelului semnalului util sau prin îndepărtarea antenelor de recepție de sursa perturbatoare în timp ce zgomotul acustic nu poate fi redus decît acționînd asupra elementelor LEA. Ca urmare, se asistă în ultimii 10 ani la alegerea unor conductoare cu diametre peste 30 mm și sînt frecvente cazurile cînd chiar linii de 400—500 kV se realizează cu fascicule de conductoare de 4 × 30 mm. O bună reducere a zgomotului acustic se poate obține prin plasarea nesimetrică a subconductoarelor în fascicol, evident cu o scumpire a tehnologiei.

Aspectele privind zgomotul radioelectric și acustic impun introducerea conceptului de „culoar perturbat" diferit de culoarul de trecere, concept care trebuie să aibă în mod obligatoriu o tratare probabilistică funcție de diferite categorii meteorologice.

6. Compactizarea — soluție importantă de reducere a impactului LEA asupra mediului înconjurător

Prin compactizarea unei LEA se înțelege reducerea distanțelor fază-fază și fază-pămînt (inclusiv distanța fază-structura metalică a stîlpului). Fără a analiza modalitățile de reducere a distanțelor izolante și limitele în care aceste reduceri se pot realiza se poate sublinia că față de liniile clasice liniile compacte aduc o sensibilă îmbunătățire privind satisfacerea primilor trei factori ce trebuie avuți în vedere pentru a reduce impactul asupra mediului : reducerea terenului ocupat, reducerea cîmpului electric și magnetic de 50 Hz la sol și diminuarea impactului vizual. O ilustrare cantitativă a acestei afirmații se prezintă în tabelul 2 care conține o comparație între o structură de linie de 400 kV dublu circuit clasică, numită DONAU (stîlp SN400232) și o structură compactă numită DONAU IPB (stîlp SN400232 compactizat — propunere IPB [21]). Structura compactă luată în considerare este obținută din structura clasică prin utilizarea lanțurilor de izolatoare în „V". Dispunerea fazelor în cazul celor două structuri este prezentată în figura 5, în care „Y" reprezintă înălțimea medie de susținere.

Tabelul 2 conține următorii parametri :

- lățimea culoarului (T) și mărimea componentelor sale (L, S, a);

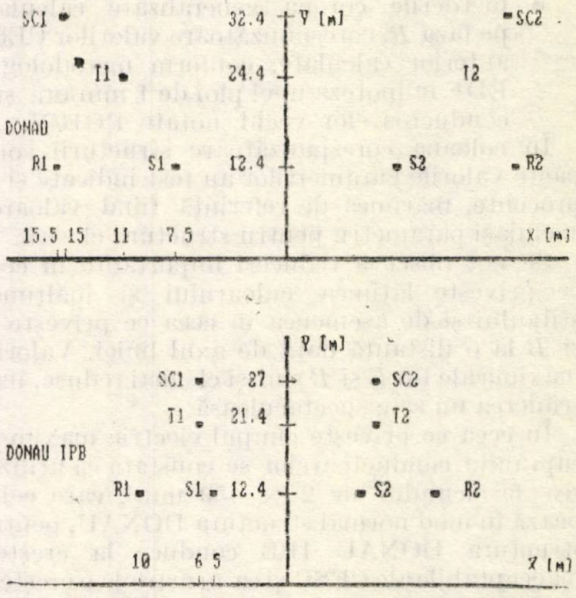


Fig. 5. Dispunerea fazelor pentru liniile DONAU și DONAU IPB.

Tabelul 2

Criteriu		SN400232	SN400232 compact	
Culoar de trecere (T) [m]		61	44	72%
din care : L [m]		30,6	24,8	81%
S [m]		10,2	6,8	67%
a [m]		5	5	100%
Înălțime [m]		41,5	36	87%
E[kV/m]	30[m]	1,395	0,659	47%
	22[m]	3,172	1,507	47%
	0[m]	5,441	5,291	97%
B[μT]	30[m]	4,718	3,320	70%
	22[m]	6,853	5,176	75%
	0[m]	12,144	11,612	95%
	tip fascicul			
CESC pe faza R	2×450mm²	18,585	20,040	108%
[kV/cm]	3×300mm²	17,115	18,641	108%
PG1CV pe faza	2×450 mm²	40,664	62,567	154%
R [W/m]	3×300mm²	17,033	32,360	190%

- înălțimea stîlpilor ;
- cîmpul electric (E) și magnetic (B) la sol la 30 m și 22 m de axul liniei și în axul liniei ;
- cîmpul electric maxim la suprafața conductoarelor (CESC) atît pentru utilizarea fasciculului 2 × 450 mm², cît și a fasciculului 3 × 300 mm² la cele două structuri de linie comparate. Este indicat CESC pe faza R, unde acesta are cea mai mare valoare ;
- pierderile corona generalizate calculate pe faza R, corespunzătoare valorilor CESC anterior calculate, conform metodologiei EDF în ipoteza unei ploi de 1 mm/oră și a conductoarelor vechi notate PG1CV.

În coloana corespunzătoare structurii compacte valorile parametrilor au fost indicate și în procente, mărimea de referință fiind valoarea aceluiași parametru pentru structura clasică.

Se pot observa reduceri importante în ceea ce privește lățimea culoarului și înălțimea stîlpului și de asemenea în ceea ce privește E și B la o distanță dată de axul liniei. Valorile maxime ale lui E și B sînt și ele mai reduse, însă scăderea nu este spectaculoasă.

În ceea ce privește cîmpul electric maxim la suprafața conductoarelor se constată că utilizarea fasciculului de 2 × 450 mm², care echipează în mod normal structura DONAU, pentru structura DONAU IPB conduce la creșteri inacceptabile ale CESC și ca urmare la o creștere cu 54% a pierderilor corona generalizate pentru condițiile de calcul menționate mai sus (1 mm/oră ploaie + conductoare vechi). Alegerea unui fascicul de 3 × 300 mm² este suficientă ca să se obțină pentru structura DONAU IPB o valoare a PG1CV mai mică decît se înregistrează astăzi pentru structurile DONAU aflate în funcțiune, adică 32 W/m față de 40 W/m.

Trebuie semnalat faptul că reducerea terenului ocupat, reducerea impactului vizual și reducerea lui E și B evidențiate în tabelul 2 sînt greu, dacă nu imposibil, de cuantificat din punct de vedere economic și că, în general, liniile compacte sînt mai costisitoare din punctul de vedere al realizatorului. Această constatare este valabilă și pentru țările dezvoltate industrial, unde „dreptul de trecere" se plătește proprietarilor terenurilor pe care se realizează linia și unde prin reducerea terenului ocupat (afectat) se micșorează sumele plătite drept compensații proprietarilor. De altfel, înseși compensațiile bănești acordate pentru dreptul de trecere au variații mari, fiind în mare măsură arbitrare (funcție de pretențiile proprietarilor terenului — prin tratative directe între cel afectat și constructorul liniei), neexistînd o metodologie clară de stabilire a valorii acestor compensații.

În ceea ce privește satisfacerea cerințelor 4 și 5, care sînt practic direct legate de cîmpul electric la suprafața conductoarelor, în cazul liniilor compacte apare necesară alegerea unui fascicul cu un număr mai mare de conductoare pentru a compensa creșterea cîmpului electric la suprafața conductoarelor datorată micșorării distanțelor dintre faze. Aceasta implică, pe de o parte, sporirea investiției în conductoare și creșterea cheltuielilor de montaj, dar duce, pe de altă parte, la creșterea capacității de transport a liniei, făcînd ca linia să fie mai elastică din punctul de vedere al plajei în care se poate realiza un transport optim de energie (soluție utilizată în unele țări ca Germania sau Anglia).

3. Concluzii

- Preocupările tot mai ample ale opiniei publice pentru conservarea mediului ambiant creează deja noi restricții în proiectarea LEA și chiar dificultăți de a mai obține dreptul pentru construirea de noi linii în multe țări industrializate. Este posibil ca această tendință să se accentueze în următorii ani. În aceste condiții LEA compacte se impun prin faptul că sînt capabile, față de soluțiile clasice, să rezolve o serie de probleme privind încadrarea în mediul ambiant. Ca urmare, nu este absolut necesar ca ele să rezulte mai ieftine în comparație cu soluțiile clasice pentru a fi promovate. În general, oriunde în lume, o linie compactă va fi ceva mai scumpă, dar ea va răspunde mai bine anumitor cerințe. În urma reformei funciare din țara noastră este de așteptat, în special datorită loturilor mici, ca proprietarii să nu accepte cu ușurință realizarea de noi LEA. Valorificarea vechilor culoare existente prin transformarea unor linii existente în linii cu o tensiune mai ridicată, dar care să se încadreze în culoarul liniei vechi prin utilizarea unor structuri compacte trebuie să constituie un obiectiv important pentru dezvoltarea sistemului electroenergetic.

- Preocupările privind realizarea unor structuri compacte trebuie să stea în atenția realizatorilor de LEA din țara noastră și prin prisma păstrării competitivității pe piața externă. Așa cum se poate desprinde, urmărind preocuprile multor firme de a acorda o atenție tot mai mare problemelor de încadrare în mediu a LEA și în general observînd sensibilitatea crescută în ultimele decenii a umanității pentru problema mediului înconjurător în următorii ani, foarte probabil, liniile compacte vor deveni mult mai căutate pe piața externă.

- Elaborarea și perfecționarea unor metodologii de cuantificare a realelor avantaje aduse de liniile compacte, chiar dacă puțin artificiale, trebuie să devină o preocupare constantă, care să fie de natură să promoveze în final structurile compacte și în rețeaua românească.

BIBLIOGRAFIE

[1] Ginocchio, R. *Energie electrique et environnement.* Edition Eyrolles, 1980.
[2] Scherer, H. N. Jr., Ware, B. J., Marsico, R. *Critères electriques, structurels et d'environneent pour les lignes de transport à tres haute et ultra haute tension.* CIGRE Session 1984.
[3] Maddock, B. J. *Guidelines and standards for power-system electric and magnetic fields in countries around the world (excluding north America).* International Utility Symposium on Health Effects of Electric and Magnetic Fields, 1986, Toronto, Canada.
[4] Alexandrov, G. N. ş.a. *Proiectarea liniilor electrice de foarte înaltă tensiune.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1989.
[5] Wertheimer, N. Leeper, E. *Electrical wiring configuration and childhood cancer.* În : American Journal of Epidemiology 1979, No. 109, 273—284.
[6] Wertheimer, N., Leeper, E. *Adult cancer related to electrical wires near home.* Department of Preventativ Medicine and Community Health, University of Colorado, Denver, 1982.
[7] Fulton, J. P. s.a. *Electrical wiring configuration and childhood leukemia in Rhode Island.* În : American Journal of Epidemiology 1980, No 111, 292—296.
[8] Tomenius I. ş. a. *Electrical constructions and 50 Hz magnetic field at the dwelling of tumor cases (0—18 years of age) in the county of Stockholm.* Prague, 1982.
[9] Milham, S. Jr. *Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields.* În : New England Journal of Medicine, 1982, 307, 249.
[10] * * * *Swedish study supports power line-cancer link.* Microwave News II, 1982, November, 3.
[11] Wright, W. E., Peters, J. M., Mack, T. M. *Leukemia in workers exosed to electrical and magnetic fields.* În : Letter, The Lancet, 1982, No. 20, p. 1160.
[12] Coleman, J. s.a. *Leukemia incidence in electric workers,* Lancet II, 1983.
[13] Bauchinger, N. ş.a. *Analysis of structural cromosome changes and SCE after occupational longterm exposure to electric and magnetic fields from 380kV systems.* Radiat Environ Biophysic, 1981.
[14] Nordenson, I. s.a. *Clastogenic effects in human limphocyres of power frequency electric fields.* Radiat Environ Biophysic, 1984.
[15] Zimmermann, U., Vienken, J. *Electric field — induced cell to cell fusion.* Membrane Biology, 1982.
[16] Murg, B., Drăgan, G., Rusan, R. *Efecte ale cimpului magnetic asupra unor culturi celulare similare* Conferinţa Naţională de Energetică, Bucureşti, 1988.
[17] Kenneth, R. R. *The responses of cells to electrical fields : A review.* În : The Journal of Cell Biology, volum 101, 1985, 2023—2027.
[18] Cecchetti, E., Clerici, A., Paris, L. s.a. *Compact lines for urban areas : a new solution* — SAE SADELMI prospect 1989.
[19] * * * *Transmission line reference book 345kV and above.* Electric Power Research Institute
[20] * * * PE 104/85. *Normativ pentru construcţia liniilor aeriene de energie electrică cu tensiuni peste 1000 V.*
[21] Cristescu., D, Ungureanu, M.,Măgureanu, G. *L'effet de couronne sur les lignes compactes.* CIGRE, Raport 500—02, Leningrad 1991
[22] Cristescu, D., Coatu, S., Gheorghiţa, G., Vatra, F. *L'etat de la realization des lignes compactes de 400 kV en Roumanie.* CIGRE, Raport 500—03, Leningrad, 1991
[23] Dragan, G., Rusan, R. *Influence of a trees'row on the electric field intensity of a high voltage overhead line.* CIGRE Raport 500—05, Leningrad, 1991

(Primit la 11 martie 1993, acceptat la 1 aprilie 1993

Cronică

ÎNFIINŢAREA ASOCIAŢIEI „TEHNICĂ ŞI UMANISM"—IAŞI

Sala de festivităţi a Filialei Reţele Electrice Iaşi a găzduit, în ziua de 2 aprilie 1993, şedinţa de constituire a Asociaţiei „TEHNICĂ ŞI UMANISM" — Iaşi, continuatoarea cercului „Tehnică şi umanism", înfiinţat la data de 19 iunie 1988 pe lîngă Muzeul Politehnic Iaşi.

Din activitatea desfăşurată în cadrul cercului „Tehnică şi umanism" pentru perioada 1988—1993, prezentată de prof. univ. Cezar BUDA, a realizat faptul că obiectivul principal al acestui cerc a fost „umanizarea tehnicii", adică realizarea unei legături între tehnicieni şi preocupările de ordin umanist.

Iniţiatorii cercului „Tehnică şi umanism" urmăresc ca prin transformarea acestui cerc într-o asociaţie cu personalitate juridică să dea un nou impuls acţiunilor cu caracter cultural-educativ ale tehnicienilor şi să extindă legăturile cu alte instituţii şi întreprinderi din municipiul Iaşi, acordînd o deosebită atenţie atragerii tineretului, în special a studenţilor Institutului Politehnic Iaşi şi a elevilor de la Liceul Energetic Iaşi.

În cuvîntul său, ing. Mihai Caba a arătat că actuala Filială de Reţele Electrice este continuatoarea unei mai vechi întreprinderi de electricitate, care în 1999 va sărbători 100 de ani de existenţă. Vechea „uzină de lumină" a intrat în istoria spirituală a Iaşului chiar de la înfiinţarea ei, primul ei director, inginerul Laurenţiu Teodoreanu (1898—1907) inspirînd lui Ionel Teodoreanu, nepotul său, acel original personaj din romanul „La Medeleni" — „Herr Director". Al doilea director, inginerul Th. Lecca, a fost colaborator al revistei „Viaţa românească" şi prieten cu personalităţile culturale şi ştiinţifice ale Iaşului anilor 1910—1930. Cel de al treilea director, inginerul Mircea Volanschi (1924—1944), a fost om de elevată cultură, prieten şi susţinător al oamenilor de litere şi artiştilor ieşeni.

Domnul prof. dr. ing. Alexandru Poeată a prezentat un istoric al învăţămîntului electrotehnic ieşean şi colaborarea acestuia de peste 80 de ani, cu uzina electrică, de unde au fost recru-

(continuare în pag. 179)

Creșterea rapidă a curenților de scurtcircuit în sistemele electroenergetice a creat un șir de probleme în electroenergetică.

Cele mai acute dintre ele sînt :

— prognozarea creșterii curenților de scurtcircuit ;

— influența curenților de scurtcircuit asupra fiabilității rețelelor și instalațiilor electroenergetice ;

— influența curenților de scurtcircuit asupra stabilității schemelor proiectării instalațiilor noi și principiilor de dezvoltare a electroenergeticii.

The quick increase of the short-circuit currents within the electromagnetic systems has created several problems in the electric energy field.

The most important ones are :

— short-circuit currents increase forecast

— short-circuit currents influence upon the reability of electric energy networks and equipments

— short-circuit currents influence upon the new equipment designing diagrams stability and on the electric energy developing principles.

Descriptori : curenți de scurtcircuit, sisteme electroenergetice

Curenții de scurtcircuit, variația și influența lor în sistemele electroenergetice

Dr. ing. TEODOR MIHAI ERHAN
ing. VICTOR BÎRLĂDEANU,
ing. ELENA ERHAN *

Folosirea tot mai intensă a energiei electrice în toate ramurile economiei naționale și sfera socială a pus în prim plan dezvoltarea rapidă a stațiilor electrice și folosirea blocurilor energetice cu putere și parametrii măriți.

Dezvoltarea rapidă a stațiilor electrice și a rețelelor de diferite tensiuni a creat condiții de creștere rapidă a curenților de scurtcircuit, ceea ce produce multe probleme în electroenergetică.

Pentru diminuarea creșterii curenților de scurtcircuit există mai multe soluții, dintre care amintim :

— deoarece curenții de scurtcircuit cresc neîntrerupt și discret, trebuie ca parametrii instalațiilor din sistem să fie controlați permanent. Instalațiile ale căror performanțe nu corespund cu valoarea probabilă a curenților de scurtcircuit se schimbă din rețea. În acest caz nu se folosesc măsuri speciale pentru diminuarea creșterii curenților de scurtcircuit ;

— În cazul în care caracteristicile instalațiilor și echipamentelor rămîn aceleași se încearcă limitarea creșterii curenților de scurtcircuit prin diferite metode și menținerea lor la același nivel în perioada normală de funcționare a instalațiilor și echipamentelor electroenergetice ;

— căutarea compromisului între limitarea creșterii curenților de scurtcircuit și folosirea instalațiilor cu performanțe mărite.

Analiza complexă a acestei situații arată că pentru soluționarea ei trebuie rezolvate următoarele probleme, care sînt legate între ele :

— analiza evoluției curenților de scurtcircuit și a nivelurilor de dezvoltare ;

— metodele și mijloacele de diminuare a creșterii curenților de scurtcircuit ;

— coordonarea caracteristicilor instalațiilor și echipamentelor electroenergetice cu mărimea prognozată a curenților de scurtcircuit.

1. Nivelul curenților de scurtcircuit și variația lor

În perioada 1970—1990, din cinci în cinci ani au fost adunate și sistematizate informații statistice despre mărimea probabilă a curenților de scurtcircuit, atît monofazat, cît și trifazat, în rețelele cu tensiunea 35—750 kV (tabelul 1).

Analiza datelor statistice arată că nivelul curenților de scurtcircuit, atît monofazat, cît și cel trifazat, crește permanent, dar în rețelele de

* Institutul de Energetică al Academiei de Științe, Chișinău, Republica Moldova

Tabelul 1

Anii	Numărul sistemelor energetice care au prezentat informații	Curenții de scurtcircuit Curenții trifazați (3) Curenții monofazați (1)	Mărimea maximală a curenților de scurtcircuit (kA) în rețele de diferite tensiuni (kV)				
			35	110	330	500	750
1970	36	3	36,5	36,0	31,0	19,5	7,25
		1	—	36,4	32,6	22,5	7,4
1975	42	3	37,6	43	35	29,5	12,5
		1	—	40	33	30,1	12,6
1980	53	3	39,4	50	49	22,9	11,0
		1	35,6	52	54	25,5	11,0
1985	62	3	46,1	44,6	57,5	39	20
		1	45,5	54,1	43	35	23,6
1990	71	3	40,9	46	47	50,6	27,2
		1	37,5	50	53	57,8	30,6

înaltă tensiune dinamica de creștere a curenților este mai rapidă. Acest fapt se explică prin aceea că toate stațiile electrice cu o putere de 3,2; 4,0; 6,0 mln. MVA care se dau în exploatare sînt conectate la tensiunea de 500 sau 750 kV. Tot din datele statistice se observă panta mai mare de creștere a curenților de scurtcircuit monofazați decît a curenților trifazați. Acest efect se explică prin schemele de conexiune ale stațiilor electrice și prin faptul că rețelele electrice cu tensiunea 110 kV și mai mare sînt surse de creștere a curenților de scurtcircuit.

Caracteristic pentru schemele cercetate este faptul că numărul de noduri cu curenți maximali este minim și constituie 9—12% din numărul total.

Distribuția curenților de scurtcircuit conform mărimii lor și numărului de noduri este prezentată în figura 1 pentru un sistem energetic caracteristic.

2. Metodele și mijloacele de limitare a curenților de scurtcircuit

Cercetările și analizele efectuate ne-au dat posibilitatea să clasificăm metodele și mijloacele de limitare a creșterii curenților de scurtcircuit, astfel :

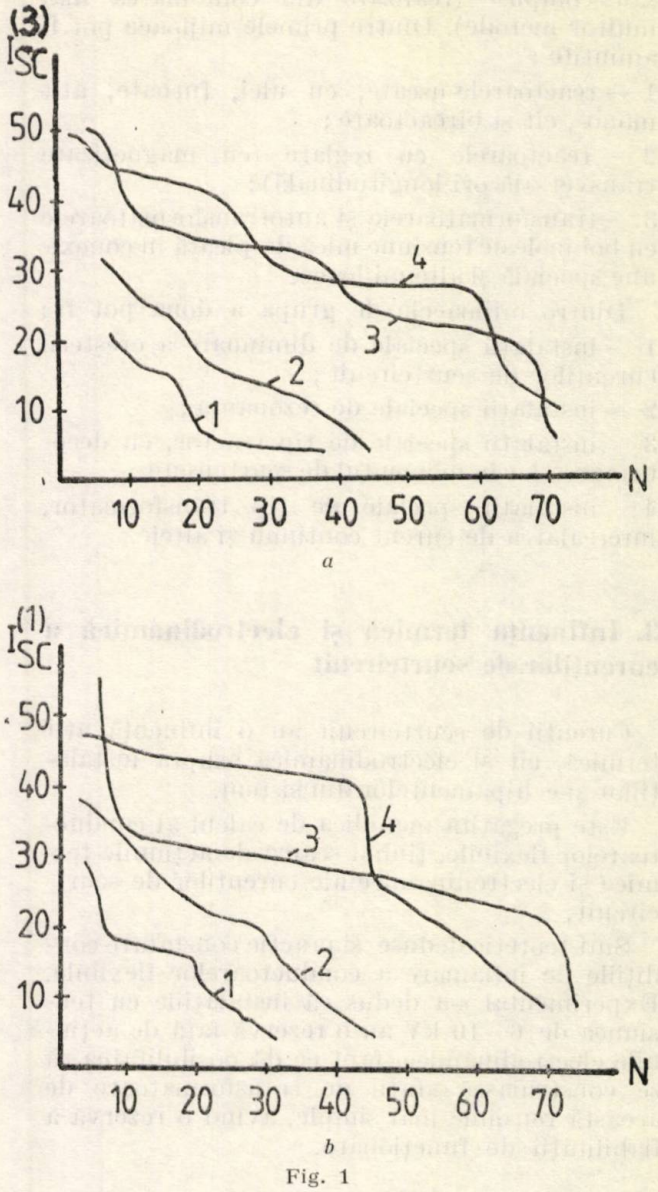


Fig. 1

— optimizarea structurii și parametrilor instalațiilor (această metodă poate fi folosită în stadiul de proiect);

— debuclarea rețelelor, staționară sau automată (această metodă se folosește în etapa de exploatare a sistemelor electroenergetice);

— limitarea creșterii curenților de scurtcircuit cu ajutorul diferitelor instalații, aparate și echipamente;

— optimizarea regimului de tratare a neutrului transformatoarelor și autotransformatoarelor în rețelele de înaltă tensiune pentru curenții de c.c. monofazați.

Mijloacele de limitare a creșterii curenților de scurtcircuit pot fi simple (o singură metodă)

sau compuse (realizate din combinarea mai multor metode). Dintre primele mijloace pot fi amintite :

1 — reactoarele-uscate, cu ulei, turnate, atît mono-, cît și bireactoare ;

2 — reactoarele cu reglare (cu magnetizare transversală ori longitudinală) ;

3 — transformatoarele și autotransformatoarele cu bobinele de tensiune mică despicată în conexiune specială și alte mijloace.

Dintre mijloacele de grupa a doua pot fi :

1 — instalații speciale de diminuare a creșterii curenților de scurtcircuit ;

2 — instalații speciale de rezonanță ;

3 — instalații speciale de tip reactor, cu deconectarea lor în momentul de scurtcircuit ;

4 — instalații speciale de tip transformator, intercalarea de curent continuu și altele.

3. Influența termică și electrodinamică a curenților de scurtcircuit

Curenții de scurtcircuit au o influență atît termică, cît și electrodinamică asupra instalațiilor și echipamentelor din sistem.

Este pregătită metodica de calcul al conductoarelor flexibile, ținînd seama de acțiunile termice și electrodinamice ale curenților de scurtcircuit.

Sînt teoretic deduse și practic constatate condițiile de inflamare a conductoarelor flexibile. Experimental s-a dedus că instalațiile cu tensiunea de 6—10 kV au o rezervă față de acțiunile electrodinamice, fapt ce dă posibilitatea să se construiască stații de transformatoare de această tensiune mai simple, avînd o rezervă a fiabilității de funcționare.

4. Condiții de calcul al curenților de scurtcircuit

Au fost studiați factorii care influențează procesul de scurtcircuit, și anume :

— schemele electrice de conectare a instalațiilor ;

— locul unde are loc scurtcircuitul și valorile maximale ale curenților, atît monofazați, cît și trifazați ;

— timpul în care are loc scurtcircuitul.

În urma analizei, pentru un număr de instalații cu tensiunea de 10—110 kV au fost elaborate instrucțiuni, care țin cont de probabilitatea apariției curenților de scurtcircuit, mărimea lor și stabilesc legea lor de schimb și deviere.

5. Influența parametrilor stațiilor electrice ai instalațiilor și rețelelor asupra mărimilor curenților de scurtcircuit

În orice sistem tehnic există structuri caracteristice tipice. Stațiile electrice, stațiile de transformatoare și rețelele electrice sînt structuri radiale, atît deschise, cît și închise sub formă de buclă. În afara acestor structuri tipice există și cîteva deviații. Dacă ne este cunoscută sursa de energie, mărimea ei și locul de destinație, structura rețelelor, impedanța interioară și rezistența rețelelor de legătură (date care reies din structura lor), se poate calcula valoarea maximă probabilă a curenților de scurtcircuit, probabilitatea lor de apariție și modul de distribuție între noduri. Din toate acestea reiese că cîțiva parametri exteriori creează un anumit spectru al curenților de scurtcircuit, în structura concretă dată a acestor rețele, și determină mărimea acestor curenți.

Variind parametrii structurilor, se poate obține distribuția dorită a curenților în structurile date.

6. Optimizarea curenților de scurtcircuit și prognozarea lor

Optimizarea mărimilor curenților de scurtcircuit este unul din cele mai însemnate elemente în sistemul de optimizare a structurii parametrilor stațiilor și rețelelor electrice.

7. Funcția de optimizare are următoarea formă :

$$C(\text{Is.c.}) = EnK\,(Is) + \text{Y}(Is) = \min$$

Rezolvarea acestei relații se face cu un șir de limite de felul următor :

$C(Is.\text{c.})$ — cheltuielile totale ;
$K\,Kd$ — investițiile capitale posibile ;
$U\,Ud$ — cheltuielile posibile ;
$R = Rd$ — fiabilitatea nodurilor și rețelelor ;
$Y = Yd$ — pierderile posibile din cauza fiabilității joase ;
$Ce = Ced$ — costul energiei electrice posibile ;
$Is.\,min = Is.\,opt = Is.\,max$ — limitarea curentului de scurtcircuit după mărimile minimale și maximale.

Ținînd seama că parametrii utilajelor electrice au caracter discret, se caută rezolvarea optimă pentru structura dată. Prognozarea curenților de scurtcircuit capătă o însemnătate primordială în etapa dată de dezvoltarea stațiilor și rețelelor electrice. Prognosticarea curenților de scurtcircuit maximali se poate face după mărimea maximală a curenților din cel mai mare nod de generare, adăugînd încă o parte de curent, care vine de la nodurile vecine prin rețele în momentul apariției scurtcircuitului. Această mărime poate fi ușor calculată, avînd la îndemînă schema electrică de legătură a stațiilor electrice.

Mărimea curenților de scurtcircuit poate fi prognozată din curbele de distribuție a curenților de scurtcircuit, reieșind din structura dată a schemelor și mărimea rezistențelor și puterii stațiilor. Pentru aceasta, se calculează preventiv densitatea puterii de generare , particularitățile schemelor de legătură și ale structurilor lor conform condițiilor reale.

Indiferent de modul de prognozare a curenților de scurtcircuit rezultatele trebuie să fie aproximativ identice.

Concluzie

Nivelul curenților de scurtcircuit este unul din parametrii de bază ce caracterizează sistemele electromagnetice ; el are o influență din ce în ce mai mare asupra modului de alegere a instalațiilor și echipamentelor, aprecierii fiabilității și stabilității instalațiilor echipamentelor și rețelelor, regimurilor de funcționare a instalațiilor, rețelelor și sistemului electromagnetic în întregime.

Problemele de coordonare și prognosticare a curenților de scurtcircuit în stațiile și rețelele electrice sînt complexe, multifactoriale și cer o atenție permanentă din partea proiectanților și organizatorilor exploatării stațiilor și rețelelor electrice.

Variația curenților de scurtcircuit se datorește faptului că puterea nodurilor cu generare crește rapid, este unul din parametrii de generalizare a sistemului energetic și este unul din factorii de bază, care constituie introducerea în sistem a următoarei trepte de tensiune, care dă posibilitatea de a limita creșterea curenților și îmbunătățirea fiabilității sistemului energetic în întregime.

BIBLIOGRAFIE

[1] Erhan, F. M., Neclepaev, B. N. Toki korotkogo zamîkaniiaa i nadejnosti ENERGosistem. Chișinău, 1985, p. 207

[2] Neclepaev, B. N. Coordinația urovnei tokov korotkoga zamîkaniia. Moscova, Energhiia, 1978

[3] Otkiucenie tokov v seteah viskogo nepreajeniia, Moscva, 1981

(Primit la 11 ianuarie 1993, acceptat la 16 aprilie 1993)

(urmare din pag. 175)

ți reputații profesori Mircea Volanschi, Cezar Antoni Parteni, Nicolae Boțan. Energeticienii ieșeni s-au impus atît în domeniul tehnic, cît și în activități predominant umaniste. Se impune ca una dintre preocupările de viitor să fie consemnarea aportului înaintașilor la dezvoltarea energeticii și a învățămîntului electrotehnic din Iași. Ilustrativ pentru efervescența activității în domeniul tehnic este faptul că primul congres al inginerilor din România a avut loc la Iași, în uzilele de 9—11 octombrie 1921, așa cum s-a consemnat în revista științifică „V. Adamachi" (vol. VIII, nr. 2, febr. 1922). În scopul popularizării activității asociației „Tehnică și umanism" ar fi binevenită o colaborare mai strînsă cu revista Energetica, care a împlinit recent 40 de ani de activitate.

Asociația „Tehnică și umanism" își desfășoară activitatea pe baza unui statut aprobat de adunarea generală. Între două adunări generale, activitățile asociației vor fi coordonate de un consiliu director, avînd următoarea componență : prof. univ. Cezar Buda — președinte ; ing. Eugenia Ursescu — vicepreședinte ; ing. Elena Chiriță — secretar ; ing. Sanda Toma — casier ; ing. Mihai Caba — consultant ; ing. Mihai Chiriac — membru ; ing. Emil Costoaie — membru ; ing. Ioan Ciutea, director FRE Iași, a fost ales președinte de onoare al asociației. Pentru anul 1993 asociația își propune continuarea „dialogului tehnică-umanism", cu invitarea unor personalități științifice, culturale, artistice din Iași și din alte localități, organizarea de consfătuiri, mese rotunde, reuniuni, excursii, stabilirea de relații cu Republica Moldova. Se va acorda o atenție deosebită atragerii tineretului la acțiunile asociației.

La sfîrșitul lunii aprilie a.c. a fost prevăzută organizarea unui nou dialog „tehnică-umanism" în colaborare cu cercul „Medicina și cultura" al IMF Iași, cu tema „Medicamentele — dușman și prieten".

S-a reținut propunerea organizării unei mese rotunde la Muzeul de Literatură (casa Pogor) cu tema „Junimea și electricitatea", scoțîndu-se în evidență aportul lui Leon Negruzzi (1840—1890) considerat „părintele energeticii ieșene", lui Vasile Pogor și Nicolae Gane, realizatorii primei uzine electrice comunale a orașului Iași (1899) și a tramvaiului electric din Iași (1900).

ing. CONSTANTIN OSTAP

Lucrarea folosește conceptul de sarcină electrică echivalentă în calculul probabilității de neacoperire a sarcinii în sistemele interconectate.

Momentele statistice ale sarcinilor electrice corelate sînt determinate de distribuția frecvențelor de apariție ale acestora.

Ieșirile din funcționare ale generatoarelor modifică momentele statistice ale sarcinilor echivalente.

Distribuția frecvențelor sarcinilor electrice echivalente este aproximată în seria bivariantă Gram-Charlier.

În final, se calculează printr-o integrare numerică probabilitatea de neacoperire a sarcinii.

Determinarea continuității în alimentarea cu energie electrică în sistemele interconectate

Conf. dr. ing. CORNELIU VELICESCU *

The paper contains the concept of equivalent electric load in the probability calculus of failure to meet the load in the interconnected systems.

The statistical moments of the correlated electric loads are determined by the distribution of their occurrence frequences.

The generators disoperations modify the statistic moments of the equivalent loads.

The distribution of the equivalent electric loads frequences is approximated in the bivariant series Gram-Charlier.

Finally, the probability of failure to meet the load is calculated by a digital integration.

Descriptori: funcția densitate de probabilitate a sarcinii electrice echivalente, probabilitatea de neacoperire a sarcinii, momente statistice

Introducere

În cadrul subsistemelor de rețele interconectate este de interes major aprecierea timpului probabil de neacoperire a sarcinii, considerînd ieșirile din funcționare a generatoarelor. Calitatea rezultatului, cu implicații asupra revizuirii numărului de surse de putere și a puterilor unitare instalate, este determinată de volumul datelor referitoare îndeosebi la evoluția sarcinii electrice și la modelul matematic ales.

Avînd în vedere extinderea subsistemelor de rețele și necesitatea determinării rapide a indicatorilor continuității în alimentare, devine stringentă asigurarea unor programe de calcul performante. Acestea vor da prompt răspunsul la impunerea capacității minime de transport a liniilor de interconectare dintre subsisteme, care să asigure valorile impuse indicatorilor continuității în alimentare.

Pentru acest ultim scop este necesară determinarea funcției densitate de probabilitate (FDP) care va putea fi cunoscută punctual, discret, sau aproximată printr-o funcție continuă. O metodă de integrare numerică a FDP într-un domeniu corespunzător ales va determina probabilitatea de neacoperire a sarcinii în diverse zone, funcție de interconectările existente.

1. Funcția densitate de probabilitate a sarcinii echivalente

1.1. Calculul FDP prin valori discrete

Prin sarcină electrică echivalentă se va înțelege sarcina rezultată din însumarea celei propriu-zise cu puterea electrică a generatoarelor ieșite din funcționare. Cum defectul este un eveniment aleatoriu se va atașa fiecărei valori a sarcinii echivalente o probabilitate calculată pentru următoarea disjuncție de evenimente :

— sarcina echivalentă este dată de sarcina propriu-zisă și generatorul se află în funcțiune cu probabilitatea p_g ;

— sarcina echivalentă este dată de o sarcină propriu-zisă mai mică cu valoarea G_g reprezentînd puterea generatorului considerat defect,

* Universitatea Tehnică, Timișoara

Acest lucru se scrie pentru două sisteme caracterizate de sarcinile L_a și L_b astfel :

$$p'_{La,Lb}(l_{ia}, l_{jb}) = p_{La,Lb}(l_{ia}, l_{jb}) \cdot p_g + \\ + p_{La,Lb}(l_{ia}, l_{jb} - G_g) \cdot (1 - p_g) \quad (1)$$

unde $p_{La,Lb}(l_{ia}, l_{jb})$ este probabilitatea existenței simultane a sarcinilor propriu-zise l_{ia} în sistemul **a** și l_{jb} în sistemul **b**. Această ultimă mărime se determină din curbele de sarcină presupuse cunoscute, apreciind prin Δt_{ia}, respectiv Δt_{jb} durata simultană a palierelor de sarcină l_{ia} sau l_{jb} față de durata totală T_a, respectiv T_b. Rezultă deci că :

$$P_{La,Lb}(l_{ia}, l_{jb}) = P\{L_a = l_{ia}, L_b = l_{jb}\} = \\ = \frac{\Delta t_{ia}}{T_a} \cdot \frac{\Delta t_{jb}}{T_b} \quad (2)$$

Acest raționament a considerat deci o corelare a puterilor consumate, care nu mai sînt independente. Relațiile (1) și (2) sînt reprezentate grafic în figura 1. Punctele de sarcină (l_{ia}, l_{jb}) sînt obținute fie prin translatarea de-a lungul axei L_a a punctului de coordonate $(l_{ia} - G_1, l_{jb})$ dacă generatorul defect de putere G_1 aparține sistemului **a**, fie prin translatarea de-a lungul axei L_b dacă generatorul de capacitate G_1 ar aparține sistemului **b**. Acest procedeu este numit convoluție a sarcinii electrice cu generatoarele considerate defecte [1, 2]. Scopul final este de a obține convoluția succesivă a tuturor generatoarelor existente în cele două sisteme față de punctele inițiale ale sarcinilor propriu-zise. Probabilitățile astfel calculate se vor reprezenta prin vectori perpendiculari pe plan (L_a, L_b). De asemenea, se remarcă faptul că ordinea de considerare a generatoarelor nu influențează rezultatul final. Obținerea succesivă a punctelor în planul (L_a, L_b) prin translatări datorită defectării generatoarelor este însă complexă în cazul sistemelor extinse, numărul total a-l impulsurilor calculate fiind produsul dintre valorile distincte ale sarcinii propriu-zise și 2^{n1+n2}, unde n_1 și n_2 sînt numerele de generatoare în sistemul **a**, respectiv **b**. Lucrul este valabil cînd PDF a puterilor generatoarelor este rezultată dintr-o reprezentare binară.

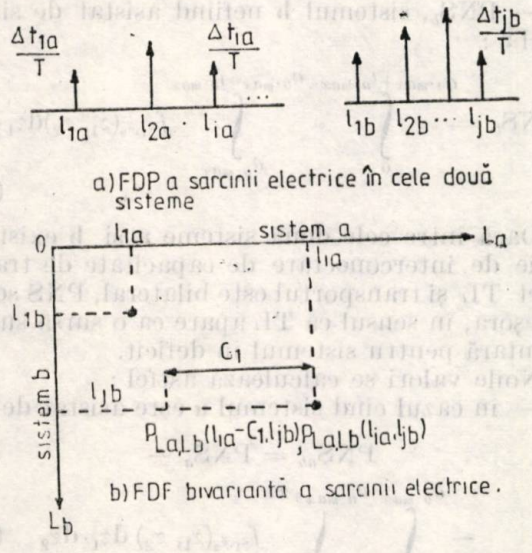


Fig.1. Frecvența de apariție a sarcinilor electrice

1.2. Aproximarea FDP prin seria Gram-Charlier bivariantă

Este cunoscută seria Gram-Charlier pentru variabilele aleatorii corelate, serie care are coeficienții exprimați în funcție de momentele statistice centrate în jurul mediei, coeficienți ce înmulțesc FDF normală normată sau derivatele ei [3].

Se folosesc uzual coeficienții exprimați în funcție de momentele statistice de ordinul patru sau șase.

O astfel de dezvoltare în serie are forma [2] :

$$f_{z_1 z_2}(z_1, z_2) = \frac{1}{\tau_1 \cdot \tau_2} \cdot \\ \cdot \sum_{n_1} \sum_{n_2} (-1)^{n_1+n_2} \cdot D_{n_1 n_2} \cdot H_{n_1 n_2} \cdot \Phi(z_1, z_2) \quad (3)$$

Pentru cazul considerării a două sisteme interconectate funcția Gram-Charlier bivariantă $\Phi(z_1, z_2)$ are forma :

$$\Phi(z_1, z_2) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \cdot \\ \cdot \exp\left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)}(z_1^2 - 2\rho z_1 \cdot z_2 + z_2^2)\right], \quad (4)$$

unde coeficientul de corelație a variabilelor normale normate z_1, z_2 s-a notat cu ρ, iar σ_1, σ_2 sînt abaterile standard marginale. Coeficienții D_{n_1,n_2} sînt exprimați funcție de momentele statistice centrate μ_{n_1,n_2} [3], iar H_{n_1,n_2} sînt polinoamele Hérmite, de forma [4].

$$H_{n_1,n_2} = \exp\left(-\frac{1}{2} g(z_1, z_2)\right) \frac{\partial^{n_1+n_2}}{\partial z_1^{n_1} \cdot \partial z_2^{n_2}} \cdot \\ \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} g(z_1, z_2)\right], \quad (5)$$

unde $g(z_1, z_2) = z_1^2 - 2\rho z_1 \cdot z_2 + z_2^2$.

Se observă că operația de convoluție anterior enunțată modifică doar coeficienții D_{n_1,n_2} din (2).

Se impune evidențierea modificării momentelor statistice centrate odată cu considerarea defectării generatoarelor. Dacă $\bar{l}_a$ și $\bar{l}_b$ sînt mediile sarcinilor electrice propriu-zise din cele două sisteme **a** și **b** și dacă $p\,(l_{ai}, l_{bj})$ este probabilitatea apariției simultane în cele două subsisteme a sarcinilor l_{ai} și l_{bj}, momentele statistice de ordin rs se calculează :

$$\mu_{rs} = \sum_i \sum_j (l_{ai} - \bar{l}_a)^r (l_{bj} - \bar{l}_b)^s p(l_{ai}, l_{bj}). \tag{6}$$

Dacă în sistemul **a** se defectează generatorul K de putere în funcționare G_K, defect ce apare cu probabilitatea q_K, cum există independența în evenimentele nivel de putere consumată și defect al sursei, va rezulta ca medie a sarcinii electrice echivalente suma mediei dintre sarcina propriu-zisă și media puterii în deficit a sursei K. Dacă această variabilă aleatoare, putere în deficit a sursei se consideră printr-o reprezentare binară cu probabilitățile asociate q_K și $1 - q_K$, pentru noua situație , (6) devine :

$$\mu'_{rs} = \sum_i \sum_j (l_{ai} + G_K - \bar{l}_a - \bar{G}_K)^r (l_{bj} - \bar{l}_b)^s p'(l_{ai}, l_{bj}), \tag{7}$$

unde $\bar{G}_K = G_K \cdot q_K + 0 \cdot (1 - q_K)$, iar $p'(l_{ai}, l_{bj})$ se calculează funcție de repartiția lui G_K.

Aplicînd și o dezvoltare binomială în (7) rezultă ;

$$\mu'_{rs} = \sum_i \sum_j \sum_{m=0}^{r} C_r^m (l_{ai} - \bar{l}_a)^{r-m} (G_K - \bar{G}_K)^m (l_{bj} - \bar{l}_b)^s p'(l_{ai}, l_{bj}) = \sum_j \sum_j \sum_{m=0}^{r} C_r^m (l_{ai} - \bar{l}_a)^{r-m} (l_{bj} - \bar{l}_b)^s [(G_K - q_K G_K)^m p(l_{ai}, l_{bj}) \cdot q_K + (- q_K \cdot G_K)^m \cdot p(l_{ai}, l_{bj}) (l - q_K)] =$$

$$= \sum_i \sum_j \sum_{m=0}^{r} C_r^m \cdot \mu_{r-m,s} \cdot [(G_K - q_K \cdot G_K)^m \cdot q_K + (- q_K \cdot G_K)^m (l - q_K)] =$$

$$= \sum_i \sum_j \sum_{m=0}^{r} C_r^m \cdot \mu_{r-m,s} \cdot \sum_K \mu_{Ka} \tag{8}$$

unde μ_K este momentul statistic centrat al variabilei aleatoare putere în deficit la sursa K.

Relația (8) se aplică succesiv pentru K pînă la numărul total al generatoarelor existente în sistemul **a**.

Considerînd acum apariția defectelor în generatoarele instalate în sistemul **b**, cu același raționament aplicat anterior se obțin momentele centrate finale astfel :

$$\mu''_{rs} = \sum_i \sum_j \sum_{m=0}^{s} C_s^m \mu'_{r,s-m} \cdot \sum_K \mu_{Kb} \tag{9}$$

unde acum K urmărește numărul generatoarelor instalate în sistemul **b** aflate în avarie.

Folosind (8) cu expresiile date în literatură pentru $D_{n_1 n_2}$ [3] se poate calcula acum funcția continuă bivariantă f (z_1, z_2) dată de (2), pentru FDF a sarcinilor electrice echivalente.

2. Calculul probabilității de neacoperire a sarcinii

Se poate acum calcula probabilitatea de neacoperire a sarcinii în cele două sisteme avînd sarcinile electrice corelate, pe baza cunoașterii FDP continui, aproximată prin seria Gram-Charlier bivariantă. Precizia calculului este determinată de metoda numerică folosită. Probabilitatea de neacoperire a sarcinii va fi reprezentată matematic de volumul aflat deasupra planului L_a, L_b și limitat de suprafața variabilă dată de $f(z_1, z_2)$. De remarcat că dezvoltarea Gram-Charlier dă și valori negative pentru $f(z_1, z_2)$, fără semnificație fizică, dar care se contorizează în calculul efectiv.

În cazul în care în sistemul **a** sarcina electrică propriu-zisă maximă este $l_{a.max}$ și valoarea totală a puterii instalate în generatoare este $G_{a.max}$, iar pentru sistemul **b** notațiile fiind similare, adică $l_{b.max}$ și $G_{b.max}$ se calculează următoarele :

— probabilitatea neacoperirii sarcinii PNS_a în sistemul **a**, neasistat de sistemul **b**, deci fără transfer de putere spre **a**

$$PNS_a = \int_0^{G_{b\cdot max}+l_{b\cdot max}} \int_{G_{a\cdot max}}^{G_{a\cdot max}+l_{a\cdot max}} f_{z_1,z_2}(z_1, z_2) dz_1 \cdot dz_2 \tag{10}$$

— PNS_b, sistemul **b** nefiind asistat de sistemul **a** :

$$PNS_b = \int_0^{Ga\cdot max+l_{a\cdot max}} \int_{G_{b\cdot max}}^{G_{b\cdot max}+l_{b\cdot max}} f_{z_1,z_2}(z_1, z_2) dz_1 \cdot dz_2 \tag{11}$$

Dacă între cele două sisteme **a** și **b** există o linie de interconectare de capacitate de transport TL și transportul este bilateral, PNS se va micșora, în sensul că TL apare ca o sursă suplimentară pentru sistemul în deficit.

Noile valori se calculează astfel :

— în cazul cînd sistemul **a** este asistat de **b** :

$$PNS_{ab} = PNS_a - \int_0^{G_{b\cdot max}} \int_{G_{a\cdot max}}^{G_{a\cdot max}+TL} f_{z_1,z_2}(z_1, z_2)\, dz_1 \cdot dz_2 \tag{12}$$

— în cazul cînd sistemul **b** este asistat de **a** :

$$PNS_{ba} = PNS_b - \int_0^{G_{a\cdot mnx}} \int_{G_{b\cdot max}}^{G_{b\cdot max}+TL} f_{z_1 z_2}(z_1, z_2)\mathrm{d}z_1 \cdot \mathrm{d}z_2. \quad (13)$$

În cazul în care sarcinile electrice propriu-zise în cele două sisteme au valoarea minimă mai mare de zero, aceste valori minime intervin în limitele de integrare din (12), respectiv (13). Se observă după modul cum sînt fixate limitele de integrare în (12) și (13) și că există prioritate de alimentare a consumatorilor proprii, adică se transportă putere spre celălalt sistem numai cînd sarcina proprie nu depășește puterea în funcționare în sistemul în discuție. De asemenea, transportul de putere spre sistemul în deficit este limitat de surplusul de putere existent în celălalt sistem. Acest ultim aspect impune limite de integrare în (12) și (13) variabile pe domeniul critic al apropierii puterii instalate față de cea consumată în cele două sisteme.

De remarcat că, avînd în vedere legătura analitică dintre cumulanții și momentele statistice brute și centrate ale unei variabile aleatorii bivariante se pot exprima coeficienții dezvoltării Gram-Charlier și funcție de acești cumulanți.

Se pot discuta și alte forme analitice pentru aproximarea FDP discretă a sarcinilor electrice corelate.

APLICAȚIE NUMERICĂ

Pentru rezolvarea practică a celor prezentate s-a întocmit un program de calcul la care evaluarea probabilității de pierdere a sarcinii s-a determinat calculînd volumele unor paralelipipede de bază 25 × 25 MW și înălțimea dată de funcția densitate de probabilitate calculată prin seria Gram-Gharlier.

Pentru exemplificare s-au ales curbele de sarcină a celor două sisteme folosite și în [2].

Ele sînt redate în tabelul 1.

În tabelul 2 sînt prezentate probabilitățile de apariție a sarcinilor corelate în cele două sisteme, evidențiindu-se deci apariția simultană a perechilor de valori ale sarcinii electrice propriu-zise.

În sistemul **a** s-au considerat existente patru generatoare de puteri 300, 100, 100, 200 MW , avînd probabilitățile de defectare de 0,08 ; 0,1 ; 0,1 și 0,06.

Pentru sistemul b s-au e vidențiat două generatoare de 100, respectiv 200 MW cu probabilitățile de defectare de 0,1, respectiv 0,06.

Tabelul 3 cuprinde rezultatele de calcul al probabilității de neacoperire a sarcinii pentru cele două sisteme în cazul considerării sarcinilor independente, corelate cu și fără transfer de putere între cele două sisteme. Rezultatele absolute, cît și comparative corespund logicii situației create.

Se remarcă posibilitatea de rezolvare a unor situații extinse din punctul de vedere al palierelor curbelor de sarcină, cît și al numărului de generatoare considerat pentru cele două sisteme.

Avînd în vedere extinderea seriei Gram-Charlier pentru trei sau patru variabile aleatorii se pot considera și cazuri de trei sau patru sisteme cu sarcini corelate.

Tabelul 1

Curbele de sarcină zilnice și probabilitățile de apariție a palierelor de putere

l_{ai} [MW]	75	200	275	300	400	500	575	600
t_{ai}/T	0,25	0,1666	0,1666	0,125	0,1458	0,0833	0,02083	0,0416

l_{bj}[MW]	100	200
t_{bj}/T	0,8333	0,1666

Tabelul 2

Probabilitățile sarcinilor corelate

l_{bi} \ l_{ai}	75	200	275	300	400	500	575	600
100	0,25	0	0,1666	0,125	0,14583	0,0833	0,0283	0,04166
200	0	0,1666	0	0	0	0	0	0

Tabelul 3

Probabilitatea de neacoperire a sarcinii

CT \ Sistem		a	b
Sarcini independente		0,021178	0,014996
Sarcini corelate	$L_T = 0$	0,01618	0,00856
	$L_T = 100$	0,01054	0,00626

BIBLIOGRAFIE

[1] Rău, N. S., Necșulescu, C., Schenk, K. F., Misrar, B. *Reliability of interconnected power system with correlated demands.* În : IEEE Trans. on PAS. vol. PAS —101, nr. 9, pp. 3421 —3430, sept. 1982.

[2] Velicescu, C. *Modele probabilistice pentru aprecierea continuității în alimentarea cu energie electrică.* În : Energetica, nr. 3 —4, pp. 118 —124, 1990.

[3] Mihăilă, I. M. *Development of the trivariate frequency function in Gram-Charlier series.* În : Rev. Roum. Math. Pures et Appl. vol. 13, No. 6, pp. 808 —813, 1968.

(Primit la 20 octombrie 1992, acceptat la 2 aprilie 1993)

Publicăm opinia d-lui ing. Petre Ungureanu, cunoscut specialist energetician din Cluj, într-o problemă de larg interes pentru toți energeticienii din țară.

Felul cum sînt prezentate diferitele aspecte ale subiectului denotă faptul că sînt anumite dificultăți în difuzarea informațiilor în general și a celor în legătură cu manifestările internaționale, în special.

Redacția așteaptă comentarii și luări de poziție în legătură cu acest subiect.

Pentru început ne-am adresat d-lui dr. ing. Călin Mihăileanu, care are o bogată experiență națională și internațională în domeniu, rugîndu-l să-și exprime punctul de vedere asupra aspectelor expuse în material și a măsurilor preconizate, propuse pentru eliminarea dificultăților sesizate de colegul nostru.

Redactor-șef,
dr. ing. EUGENIU PAVEL

PUNCTE DE VEDERE ÎN LEGĂTURĂ CU CONGRESE ȘI CONFERINȚE INTERNAȚIONALE CU PROFIL ENERGETIC

Momentul de față reprezintă o etapă hotărîtoare pentru opțiunile strategice ale RENEL, într-un moment în care economia României a ales schimbarea de fond a întregii sale structuri.

Strategia pe care RENEL o propune lucrătorilor din domeniul energiei electrice presupune în primul rînd competență profesională, o înaltă calificare și o deplină stăpînire a unui arsenal tehnic și științific de ultimă oră din domeniul energetic.

Energetica românească a avut în cursul anilor personalități de marcă și o elită de specialiști care au creat o adevărată școală. Această școală a generat la rîndul ei o structură care a plasat lucrătorii acestui domeniu în primele rînduri ale competenței profesionale în tehnocrația română.

Modul în care a fost menținut în permanentă stare de funcționare Sistemul Energetic Național în ultimii 20—25 de ani dovedește înaltul profesionalism al lucrătorilor din acest domeniu, chiar în momentele în care SEN a fost obligat să funcționeze cu parametrii incompatibili cu normele și prevederile de siguranță și stabilitate din lume!

Aceste sacrificii au marcat însă profund starea tehnică a instalațiilor din SEN, începînd cu cele din producerea energiei electrice și terminînd cu cele din transportul și distribuția acesteia.

Funcționarea cu instalațiile din SEN la limita tehnică de siguranță și stabilitate a adus însă după sine și un aspect deosebit de grav, care vizează două elemente hotărîtoare :

1. Canalizarea întregului efort material și tehnic al RENEL spre direcția asigurării resurselor energetice primare a făcut ca latura tehnică a modernizării instalațiilor să rămână pe un plan secundar.

O fotografie mărită a stării tehnice a instalațiilor RENEL ne arată la ora actuală :

— cel mai vechi parc de generatoare cu o stare tehnică mai mult decît gravă a gospodăriilor anexe (cărbune, păcură etc.) ;

— izolația majorității liniilor (110—400) kV are depășită limita de viață pentru izolatoare de tip VKLF și VKLS ;

— toată izolația LEA 20 kV de tip ISNS are depășită durata de viață ;

— protecțiile stațiilor (110—400) kV au releistica cu relee clasice (distanță, RAR, oscilooperturbografe etc.) pentru care nu mai există piese de schimb și care practic nu se mai fabrică la ora actuală ;

— aparatajul de comutație primară din majoritatea instalațiilor este fabricat în anii 1965—1975 și are caracteristici incompatibile cu cerințele unui sistem energetic modern ;

— nu există generalizate sistemele moderne de teleurmărire și teleconducere în SEN.

Consecința stării tehnice a instalațiilor din SEN o constituie faptul că România nu îndeplinește încă la ora actuală cerințele impuse de normele internaționale pentru intereconectare la sistemul energetic vest-european U.C.P.T.E.

2. Latura cea mai gravă o constituie însă faptul că mobilizarea întregii rezerve de valută a RENEL pentru asigurarea resurselor primare a redus drastic și infima sursă de valută necesară :

— abonamentelor la revistele energetice internaționale de mare prestigiu ;

— taxelor la zi pentru păstrarea calității de membru al diverselor conferințe și congrese internaționale cu Comitetele permanente ;

— taxelor de participare la marile conferinţe de specialitate energetică.

Acest aspect a marcat profund informarea generală tehnică a majorităţii personalului RENEL. S-a creat astfel un decalaj semnificativ de informaţii tehnice de ultimă oră între tehnicienii RENEL şi energeticienii ţărilor dezvoltate din lume.

Întrucît RENEL se confruntă la ora actuală cu decizii majore privind politica de management, modernizarea aparaturii primare şi a materialelor, impactul cu necesităţile economiei de piaţă, este evidentă *necesitatea unei largi informări tehnice şi manageriale la nivelul impus de tehnica mondială de ultimă oră.*

În acest sens, consider necesar analizarea oportunităţii următoarelor propuneri pentru o informare la zi a specialiştilor din RENEL în domeniul energetic.

A. Măsuri organizatorice

1 Achitarea la zi a taxelor de membru permanent pentru cele mai importante organisme internaţionale din domeniul energetic şi lărgirea totodată a numărului de membri colectivi cel puţin la FRE care au activitate proeminentă în domeniile de cercetare, producţie, management pentru :

1.1. CIGRE — CONFERENCE INTERNATIONALE DES GRANDS RESEAUX ELECTRIQUES A HAUTE TENSION — Paris, France

1.2. CIRED — CONGRES INTERNATIONAL DES RESEAUX ELECTRIQUES DE DISTRIBUTION — Bruxelles, Belgique

1.3. CONGRES EUROPEAN DE LA LUMIERE — ASSOCIATION BELGE DE L'ECLAIRAGE — Bruxelles.

1.4. WORLD CLEAN ENERGY CONFERENCE (ENERGY COALITION FOR THE GLOBAL ENERGY CHARTER) — Suisse.

1.5. WORLD ENERGY COUNCIL — London

1.6. I.E.E. — SUA.

1.7. POWER GENERATION CONFERENCE — U.K. etc.

2. Organizarea la nivel de RENEL a unei participări anuale riguroase la cele mai importante congrese şi conferinţe de profil energetic.

3. Obligativitatea depunerii de către participanţi, imediat după întoarcerea în ţară, a unei cópii complete integrale a materialului publicat la conferinţă sau congres la Centrul de Informare şi Documentare Tehnică a RENEL.

4. Multiplicarea prin xerocopiere sau pe dischetă de P.C. a materialelor şi difuzarea acestora de către CIDR la : DEN, DGTDEE, DGPEE, DCN, institutele de cercetare şi proiectare, RENEL.

5. Informarea imediată a serviciilor tehnice din FRE şi la cererea acestora xerocopierea sau copierea pe dischete pe bază de comandă a materialului din secţiunile solicitate.

6. Informarea promptă în cadrul FRE-urilor a grupelor de cercetare-proiectare sau a specialiştilor interesaţi despre materialul intrat în biblioteca tehnică.

B. Măsuri de stimulare a organizaţiilor şi persoanelor fizice care pun la dispoziţia RENEL materiale de documentare de ultimă oră publicate în lume

1. Sponsorizarea organizaţiilor profesionale prin care s-a pus la dispoziţia RENEL material documentar şi posibilitatea de participare la congrese şi conferinţe pe bază de reciprocitate (a se vedea Protocolul RENEL—România—MVM—RT—Ungaria semnat în 28.01.1993 de vicepreşedintele RENEL, ing. Vaida Victor, şi preşedintele MVM—RT, dr. Halz Josef, şi „convenţia" SIER România — MEE Ungaria.

2. Stimularea materială a specialiştilor români care participă pe cont propriu la reuniuni internaţionale şi care pun la dispoziţia RENEL informări, rapoarte şi xerocopii după materialele de la congrese şi conferinţe internaţionale.

3. Schimbarea „criteriilor de apreciere a personalului RENEL" în sensul acordării şi pentru lucrătorii din filiale a punctajelor (acordate la ora actuală numai pentru institute de cercetare, proiectare şi învăţământ) pentru :

— cunoaşterea unei limbi străine, atestată de un for universitar,
— titlul de „expert" atestat de o asociaţie naţională sau internaţională,
— calitatea de membru în comitetele naţionale şi internaţionale,
— titlul de doctor în ştiinţe etc.

4. Completarea actualelor criterii de retribuire printr-o sumă fixă suplimentară acordată tuturor lucrărilor RENEL :

— cunoscători de limbi străine (atestate universitar) ;
— posesori ai titlului de doctor în ştiinţe ;
— atestaţi ca experţi internaţionali (ONU, ONUDI).

C. Măsuri tehnice

1. Organizarea unei bănci de date pentru documentare şi informare tehnică pe calculatoare P.C.

2. Realizarea pentru RENEL a unei reţele naţionale de calculatoare P.C. pentru difuzarea şi vehicularea promptă a informaţiei tehnice la zi.

3. Introducerea RENEL într-o rețea de informare tehnică pe calculator care să cuprindă în prima etapă autoritățile similare din actualul sistem energetic interconectat, iar ulterior din sistemul vest european U.C.P.T.E.

4. Crearea în cadrul actualului Centru de Informare și Documentare Energetică a unei baze materiale capabile să multiplice prompt prin xerocopiere sau pe dischetă, materialele de informare de ultimă oră (vezi cap. A, pct. 4).

5. Dotarea tehnică materială într-o primă etapă a unor FRE din zonele de graniță cu calculatoare P.C. pentru crearea unor legături cu întreprinderi similare din țările vecine (Moldova, Bulgaria, Ungaria), în vederea abonării acestor filiale, pe baza unor convenții bilaterale la rețelele de informare tehnică din țările vecine (a se vedea ofertele din convențiile și înțelegerile societăților profesionale cu profil energetic).

În sfîrșit, dar nu în ultimul rînd, țin să scot în evidență un deziderat legat de activitatea comitetelor naționale, a societăților profesionale, a Centrului de Informare și Documentare Energetică și chiar a persoanelor fizice care intră în posesia invitațiilor sau „Call for papers" pentru reuniuni și congrese internaționale necesitatea ca acestea să fie făcute cunoscute imediat tuturor lucrătorilor RENEL prin :

— revista ENERGETICA
— Buletinul de informare RENEL
— publicațiile asociațiilor profesionale (AGIR, SER, SIER etc.) pentru ca cei care sînt în măsură și doresc să poată să trimită în timp lucrările sau articolele la aceste manifestări științifice.

Implicit va trebui ca RENEL să găsească o modalitate de stimulare materială corespunzătoare pentru orice lucrare acceptată de un congres sau conferință internațională.

Stimularea și încurajarea acestui aspect nu va face decît să confirme o dată în plus contribuțiile școlii românești la dezvoltarea energeticii mondiale.

Ing. UNGUREANU PETRE

COMENTARII
suscitate de opinia d-lui ing. Petre Ungureanu privind unele aspecte ale informării în domeniul energetic

Aspectele semnalate de domnul ing. Petre Ungureanu sînt foarte importante și sînt corect prezentate. Propunerile sînt judicioase și merită să fie temeinic analizate de toți factorii interesați.

Cîteva considerații personale, legate în special de CIGRE și CME, organizații pe care le cunosc bine :

1. În țările dezvoltate, persoanele care participă activ la manifestări tehnico-științifice internaționale (congrese, simpozioane etc.) sînt în primul rînd cele care sînt cele mai capabile (prin ceea ce știu, dar și prin cum știu să prezinte ceea ce știu, respectiv prin cunoașterea **fluentă** a limbilor de lucru, prin capacitatea de expunere sinoptică a ideilor enunțate și/sau rezultatelor obținute etc.) să își aducă o contribuție personală sau/și națională valoroasă la activitatea internațională colectivă la care participă.

Cheltuielile legate de participarea persoanei (taxa de participare, transport, hotel, diurnă) suportate, aproape fără excepție, de organizația sau firma unde lucrează participantul, se consideră că sînt cel mai bine valorificate (prin sporirea prestigiului acesteia și a consecințelor ce decurg de aici) de către acestea.

Abia în al doilea rînd se situează drept criterii de participare (în aceleași condiții privind suportarea cheltuielilor, desigur) persoanele care au **ele** (deci indirect și **compania**) de cîștigat prin informațiile pe care urmează să le obțină la congres și ulterior, prin aprofundarea documentațiilor obținute.

Cît despre obligația de a împărtăși și colegilor noutățile obținute, ea nu există efectiv, este opțională și aceasta din două motive :

— Participanții sînt numeroși, compania nu se zgîrcește și trimite cît mai mulți dintre cei despre care se presupune că sînt, pe de o parte, specialiști de frunte, cu vechime sau în formare (dar care se dovedește promițătoare) și, pe de altă parte, că **știu** și **pot** să își îmbogățească la congres orizontul tehnico-științific, ceea ce va avea aspecte benefice în activitatea lor viitoare ;

— documentația de la congres și revistele de specialitate care conțin ulterior prelucrări sintetice, făcute de specialiști competenți pe plan național sau internațional, se găsesc din abundență la bibliotecile sau chiar pe birourile personalului ingineresc din companie, așa încît cel ce dorește să se informeze o poate face direct, deși nu a participat neapărat la congres, fără a fi obligat să recurgă la serviciile colegilor care au participat efectiv.

2. În țări cum este a noastră, problema se pune însă cu totul diferit : **prioritatea absolută** este ca documentația relativ **rară** și informația directă a persoanelor, de asemenea **puține la număr**, care au participat la manifestări, să fie cît mai larg disponibile și difuzate (uneori chiar creîndu-se în mod forțat apetitul în acest sens) în cercuri cît mai largi.

La noi, obligația celor care dispun de documentații și informații de a le face cunoscute este efectivă și nu este defel o operație opțională.

Există acreditată părerea — din păcate uneori justificată — că se exercită un „monopol" de către cei care posedă o astfel de documentație și care se simt îndrituiți să se bucure de un fel

de privilegiu seniorial. Adevărul este însă, în majoritatea cazurilor, altul, mult mai prozaic : dificultăți de multiplicare și difuzare la alții, inclusiv traducere cînd este cazul să fie larg răspîndită. Din acest punct de vedere, lucrarea lui P. Ungureanu face propuneri foarte valoroase și clare (punctele 3, 4, 5, 6 de la cap. A). Cred, însă, că prevederea de la punctul 3 (depunerea de către participanți imediat după întoarcerea în țară a unei **copii complete, integrale,** a materialului adus), trebuie completată cu **obligația conducerii unității** în care lucrează participantul la congres **de a efectua rapid în unitate copia** ce trebuie trimisă la CIDE (pct. 4) pentru prelucrările ulterioare.

3. Cu toate că ordinea priorităților este în cazul nostru inversată față de cea din țările dezvoltate, pentru motive evidente și obiective, cred că nu trebuie subestimat criteriul impactului pe plan internațional al participanților români la organizațiile tehnico-științifice internaționale și la manifestările acestora. Acest impact este foarte important pentru „imaginea" țării noastre pe plan internațional. El nu poate fi corect evaluat decît din ecourile provenite **din străinătate** asupra notorietății și prestigiului persoanal dobîndite acolo, atunci cînd ele există într-adevăr, ale specialiștilor noștri și nu din autoaprecieri neverificabile și — omenește explicabil — autoelogioase.

4. Un aspect foarte important, în condițiile în care participarea noastră este însă redusă, rezidă în educarea și pregătirea pentru o astfel de participare. Am asistat recent, în țară chiar, la o manifestare la care, din condiții obiective, cei ce luau cuvîntul trebuiau să se limiteze la 5—6 minute. Numeroși vorbitori, oameni de valoare profesională certă, s-au dovedit, rînd pe rînd, exasperant de incapabili să selecteze doar cîteva idei, puține, dar importante, expuse liber și atrăgător, în locul unui discurs citit, gen dare de seamă, prefabricat și a cărui lectură ar fi durat 15—20 minute, dacă nu ar fi fost retezat de conducătorul dezbaterii, calitatea acesteia fiind serios afectată.

Participarea la un congres important în străinătate nu este nici „turism energetic", cum cred mulți, nici un premiu pentru „băieți (fete) buni (bune)" drept recompensă pentru merite în producție. Și în legătura cu aceasta, doresc să spulber unele false păreri care persistă încă în mentalitatea multora dintre noi, și anume : fie că participarea la manifestări internaționale de prestigiu ar trebui să fie apanajul profesorilor, cercetătorilor, proiectanților (zic ei !), fie că ar trebui să fie trimiși, barem de sămînță, și oameni din exploatare, montaj etc. (zic ceilalți !). În realitate, participanții din țările occidentale **bine apreciați** în aceste manifestări internaționale provin din orice domeniu de activitate. Faptul că ești profesor, doctor, academician este, în fond, secundar și neesențial (poate cu excepția germanilor). Specialiștii din exploatare sau industrie sînt tot atît de stimați ca cercetătorii sau profesorii. Dar cu o condiție, esențială ! Să fie persoane care corespund criteriului prioritar de la pct. 1 de mai sus. Dacă sînt deficitari din acest punct de vedere, atît academicianul, cît și inginerul de exploatare vor rămîne neremarcați, sau mai corect spus, remarcați negativ.

5. O atenție deosebită trebuie acordată **seriozității** cu care trebuie tratată orice participare la un congres, simpozion etc. internațional. Semnalez exemple de comportare necorespunzătoare care trebuie să înceteze cu desăvîrșire :

a) la înscrierea cu o propunere de raport, comunicare, trebuie să existe o speranță rezonabilă de participare ; au existat adesea cazuri în care s-au făcut propuneri ca să vedem „dacă se prinde", apoi, după ce sînt acceptate și prinse în programul manifestării, autorul renunță, din diverse motive, să întocmească și să trimită în termen lucrarea ;

b) odată lucrarea acceptată, ceea ce constituie indiscutabil un atu, autorul se luptă pentru participare, dar, din lipsa de fonduri, el pleacă în condiții în care are asigurat doar transportul, sau în cel mai bun caz și cazarea și diurna, dar nu și taxa de participare, care este deloc neglijabilă și în lipsa plății căreia autorul este în situația nu tocmai plăcută de participant „clandestin" sau prezent doar în holul manifestării (dl. Petre Ungureanu a fost el însuși victima unei astfel de situații la sesiunea CIGRE de la Paris din 1990, la care a fost asociat involuntar și subsemnatul prin dojana aspră la care am fost supus din partea secretarului general al CIGRE pentru existența unor astfel de situații — nu fusese singurul caz, și din „fericire" procedeul nu era practicat doar de români).

6. Cu privire la activitatea comitetelor naționale ale unor organizații tehnico-științifice internaționale importante (CIGRE, CME etc.), amintită în finalul lucrării d-lui P. Ungureanu, ea poate și trebuie ameliorată simțitor, atît în faza premergătoare, cît și în cea consecutivă manifestărilor internaționale. **Toți** cei care avem responsabilități în aceste comitete, printre care mă număr, avem datoria de a nu le considera doar cu caracter onorific, ci avînd un rol mult mai activ și eficace decît pînă în prezent, în domeniul foarte important pus în discuție în mod pertinent de lucrarea d-lui ing. Ungureanu.

CĂLIN MIHĂILEANU

SIMPOZION ROMÂNO-GERMAN

În data de 26 octombrie 1992 a fost organizat de ICEMENERG București, la sediul său, un program de comunicări susținut de firma germană FHW-ing. GmbH din Mainz-Weisenau. Tematica programului a cuprins soluții moderne de producere a energiei, îmbunătățirea fiabilității grupurilor turbogeneratoare prin metode de diagnoză, precum și nivelurile actuale de noxe stabilite prin legislație în Germania.

La simpozion au asistat circa 90 de specialiști, dintre care din RENEL și filialele sale 35 de persoane. Restul participanților specialiști în utilizarea energiei au fost din industrie (constructoare de mașini, ușoară, minieră, materialelor de construcții), ministerul mediului, organisme guvernamentale (ARCE, ARD).

Lucrările, în ordinea prezentării lor, au fost :

1. Legislația protecției mediului în Germania, autor ing. Ger Bauer

Au fost prezentate trei categorii de reglementări :

— Hotărîrea nr. 4 pentru unități cu puterea $< 5-10$ MW

— Norme „T.A. Luft" (îndrumar tehnic privind protecția aerului)

— Norme „13 TAG" pentru unități cu puterea > 50 MW

În general, normele sînt condiționate de nivelul tehnologic atins, avînd o dinamică continuă pe măsura perfecționării tehnologiilor de ardere și de reținere a noxelor.

Pentru protecția mediului ambiant guvernul german a trecut la realizarea unui program de reducere a emisiei de CO_2 cu peste 25 % pînă în anul 2005.

2. Producerea energiei electrice cu instalații energetice eoliene, autor ing. Achim Weiss

S-au prezentat aplicații privind producerea energiei mecanice și electrice cu instalații energetice eoliene, soluții privind creșterea capacității prin diverse modalități de cuplare a surselor, măsuri de micșorare a impactului din punct de vedere ecologic.

Asemenea centrale se interconectează cu sistemele electroenergetice, schimbul de puteri efectuîndu-se în funcție de disponibilitățile naturale.

Acest tip de surse se folosește și în zone izolate, îndepărtate de rețelele sistemelor electroenergetice, cu consumuri mici de putere, la care racordarea la sistem ar conduce la investiții oneroase.

3. Analiza spectrului acustic pentru identificarea timpurie a fenomenelor de îmbătrînire, autor dr. ing. Sinambari

4. Sistem de diagnoză on-line pentru turbo-generatoare, autor dr. ing. Sinambari

5. Metodă de tehnologie pentru diagnoză prin vibrații a turbogeneratoarelor, autor dr. ing. Sinambari

Metodele prezentate la punctele 3, 4 și 5 au ca scop îmbunătățirea fiabilității agregatelor și grupurilor turbogeneratoare prin identificarea timpurie a uzurilor echipamentelor și a necesității unor intervenții preventive.

6. Producerea combinată a energiei electrice și căldurii în instalații de dimensiuni mici, autor ing. Ralf Pohlschmidt

Instalațiile sînt echipate cu motoare cu ardere internă în gama uzuală de puteri electrice 35 kW—100 kW, cu un raport între puterea electrică și puterea termică de 1 :2, cu funcționare pe gaze naturale sau combustibil lichid ușor.

În momentul de față, în Germania, se constată o creștere a cererii pe piață de astfel de instalații, determinată de următorii factori favorizanți :

— pentru un număr de ore de funcționare de 6000—8000 ore/an durata de recuperare a investiției este în limitele admisibile ;

— creșterea fiabilității prin perfecționări tehnologice (durată de funcționare a bujiilor nelimitată, consumuri foarte mici de ulei, funcționare fără supraveghere) ;

— autonomie ;

— contabilitatea aplicării de tarife diferențiate (zi-noapte ; vară-iarnă) în alimentarea cu energie electrică din sistem ;

— micșorarea poluării prin realizarea unei arderi mai bune a combustibilului.

Atît conținutul rapoartelor tehnice prezentate, cît și clarificările rezultate din discuții și din răspunsurile referenților la întrebările puse de participanți, au contribuit la sporirea gradului de informare al specialiștilor din RENEL și din alte sectoare de activitate, privind realizări recente în producerea și utilizarea energiei.

ing. LIVIU MĂGUREANU
ICEMENERG — București

PUNCTE DE VEDERE ȘI TENDINȚE MANIFESTATE ÎN CADRUL CONFERINȚEI „CĂTRE O POLITICĂ ENERGETICĂ DURABILĂ ÎN EUROPA"

Berlin, 3—5 martie 1993

I. Organizatori

Conferința a fost organizată de grupul „verde" al Parlamentului European și membrii Comitetului pentru Energie, Cercetare și Tehnologie al Parlamentului European, în incinta palatului Reichstag, din Berlin, în zilele de 3, 4 și 5 martie 1993.

Au luat parte, în total, circa 150 de experți, oameni politici, ziariști, din majoritatea țărilor europene după cum urmează :

II Participanți

a) Membri ai Parlamentului European (grupul verde), reprezentanți ai direcțiilor de profil — energie, conservare, mediu — și ai secretariatului pentru Carta Energiei ai Comunității Europene ; reprezentanți ai BERD și ai PNUD ; membri Green Peace ; reprezentanți ai diferitelor organisme naționale pentru eficiență energetică și protecția mediului ambiant : ADEME și INESTENE (Franța), Centrul Energiei (Ungaria), Institutul Oko (Germania), Fundația Poloneză pentru Conservarea Energiei, Ministerul Energiei al Ucrainei, Departamentul Federației Ruse pentru Ecologie ; numeroși universitari și reprezentanți ai unor firme comerciale din domeniul conservării energiei și resurselor regenerabile.

b) Jurnaliști de la Allgemeines Sonntagsblatt ; Alternatives Economiques ; Le Monde Diplomatique ; Journalistenbüro Intermedia ; Rias Berlin Horfunk ; Journalistenbüro Contrapunkt-Presse ; Der Spiegel ; Wechselwirkung ; Komsomolijska Pravda ; Respublika.

III. Principalele teme ale referatelor și discuțiilor

a) Piața internă (europeană) a energiei : piatra de încercare a politicii Comunității în domeniul energiei.

b) Un nou tip de cooperare între Est și Vest în domeniul energiei.

c) Planuri de urgență pentru împiedicarea dezvoltării și eliminarea centralelor electronucleare, tehnologic necorespunzătoare, din Est.

IV. Principalele afirmații și concluzii de interes pentru România

a. Piața energiei

— Deși s-au obținut unele rezultate sectoriale moderate (eficiența energetică, diversificarea resurselor primare și a importurilor) sistemul internațional al energiei rămîne esențial același. Vor fi necesare, probabil, încă două generații pentru a se obține o convertire durabilă, pe liniile enunțate încă la prima criză energetică. Aceasta va depinde atît de crearea (pre)condițiilor științifice, tehnice și culturale, cît și de modul în care vor fi prognozate cu suficientă acuratețe evoluțiile în domeniile populației, economiei, descoperirii resurselor primare, stilului de viață, prețurilor, influențelor asupra mediului ambiant, tehnologiilor.

Deocamdată, se constată că nu s-au făcut pași înainte pe linia îmbunătățirii prognozelor.

— „Verzii "critică recentele reglementări ale Comunității vizînd crearea Pieței Interne a Energiei (PIE) în domeniile electricității și gazelor naturale. Aceste sectoare, organizate pe baze esențial monopoliste la nivel național nu sînt obligate să facă costurile transparente. Deschiderea granițelor nu face decît să salveze pe posesorii de capacități electronucleare (EdF), care erau sufocați de limitarea pieței naționale. Și aceasta deoarece costurile „externe " suferite de societate, în special datorită afectării mediului ambiant, nu sînt încă „internalizate", adică incluse în costurile de producție.

— Nu sînt sprijinite programele în domeniile conservării energiei (inclusiv cogenerarea) și resurselor regenerabile, în schimb 80 % din fondurile de cercetare-dezvoltare sînt înghițite de EURATOM. Filiera nucleară este „dopată" atît pe plan național, cît și la nivel comunitar.

Energia din vînt era la sfîrșitul anului 1992 de 882 MW : eficiența conversiei la vîrf depășea 35 %, iar indicele disponibilității a fost mai mare de 95 % ; costurile de producție au variat între 0,028 și 0,046 ECU/kWh.

Încălzirea și condiționarea cu energie solară au atins stadiul maturității ; pentru extinderea pieței este necesar ca cercetarea și dezvoltarea să fie orientate spre găsirea eficienței optime pentru fiecare gen de aplicație. Trebuie avute în vedere colectoarele, sistemele de stocare și de distribuție, materialele.

Utilizarea sistemelor fotovoltaice depinde încă de randamentul modulelor comerciale : aceasta a ajuns la 0,15 (0,28 în condiții de laborator) pentru monocristalele de siliciu, 0,12 (0,19) pentru policristale și 0,05 (0,12) pentru siliciul amorf. Costul modulelor comerciale existente este de 2—3 ECU/W ; costul general al unui sistem, inclusiv bateriile, este cuprins între 6 și 8 ECU/W.

În această viziune, ponderea „regenerabilelor" ar putea fi în anul 2000 nu de 6—8 % cît se prevede, ci de 12—15 %.

Prin intensificarea C—D, costurile ar putea să scadă pînă în anul 2000 : cu 25—40 % la energia electroeoliană, cu cel puțin 50 % la sistemele fotovoltaice.

— Competiția dintre societățile de electricitate, permisă de actualele Directive comunitare, favorizează numai consumul industrial ; numai marii consumatori pot încheia contracte directe cu orice furnizor. Micii consumatori comerciali și rezidențiali vor suferi, în compensație, creșteri de tarife. Se cere ca și distribuitorii locali să aibă acces la rețea pe o bază „flexibilă și pragmatică". De asemenea, micii producători (cogenerare, regenerabili) ar trebui favorizați la stabilirea prețului energiei.

Societățile de electricitate naționale sînt din ce în ce mai criticate. Centralismul este comparat cu comunismul, adică inițial ideea este interesantă, după care urmează dezastrul. Se contează pe efectul de scară (costuri specifice reduse), dar în fapt se obține contrariul : obiectivele mari necesită prognoze pe termen lung, iar acestea sînt supraestimate ; în plus, rețelele continentale impun măsuri speciale, costisitoare, pentru asigurarea siguranței în funcționare.

— În concluzie, s-au propus elementele esențiale ale unui sistem de reglementări care să permită competiția pe **criteriul costurilor societale** : însumarea costurilor de la producător cu acelea „externe", determinate de efectele poluării, de somaj etc. Elementele pieței trebuie să favorizeze în egală măsură opțiunile pentru investiții la producătorii de energie și respectiv la utilizatori. Conceptele de „planificare integrată a resurselor" și de „management al energiei la utilizator" au căpătat o accepțiune cvasiunanimă.

b) Cooperarea Est-Vest

— Cadrul general îl oferă Carta Europeană a Energiei, semnată la Haga la 17 decembrie 1991 de către miniștrii responsabili cu energia ai țărilor participante. Obiectivul central este de natură politică : să se sprijine tranziția spre democrație și economia de piață în țările din Est, în special prin dezvoltarea unei piețe libere a energiei și încurajarea investiției particulare.

Carta, ca declarație politică, fiind insuficientă pentru atingerea acestui obiectiv, în prezent se lucrează la un Tratat al Cartei Energiei. Va fi probabil încheiat la mijlocul acestui an și va oferi sistemul de legi pentru protecția investitorilor și a mediului ambiant, precum și instituțiile care îl vor implementa. Două protocoale anexă sînt cu deosebire importante, și anume, asupra (siguranței) energiei nucleare și asupra eficienței energetice.

— Participanții la discuții au arătat că în Est intensitatea energetică este de 3—4 ori mai mare decît în țările bogate. Sînt acuzate : ponderea deosebit de mare a industriei în consumul total și, mai ales, rămînerea în urmă sub aspect tehnologic. Subsidiile acordate în trecut energiei sînt la originea multor distorsiuni economice, care acum trebuie corectate.

Pentru grăbirea restructurării, economiei de energie și a transferului tehnologic, grupul „verde" susține noi reglementări și programe speciale. De pildă :

* introducerea de standarde asupra eficienței minime a receptoarelor de energie și a calității mediului ambiant (apă și aer) ;

* acordarea de asistență pentru înființarea unor centre independente (de stat), care să analizeze sub aspectele legalității, nivelului tehnic și economiei, proiectele de investiții și de retehnologizare ;

* transferul în Europa de Est, în cadrul „contractelor de investiții străine" a tehnologiilor avansate de generare a energiei electrice și termice ;

* introducerea taxelor de mediu ambiant pentru a se obține fonduri pentru dezvoltarea resurselor regenerabile și a eficienței energetice ;

* reorientarea celei mai mari părți de asistență pentru C—D electronucleară spre programemele speciale de dezvoltare a surselor regenerabile și a economiei de energie ; acces liber la aceste programe pentru țările din Europa de Est ;

* lansarea unui nou program strategic (RECENESET=recuperarea de energie în Europa de Est), eşalonat pe o perioadă de 8 ani şi finanţat în parte din taxa pe formele nereinnoibile de energie consumate în Comunitatea Europeană.

— Banca Europeană pentru Reconstrucţie şi Dezvoltare (BERD), comisionar al unor fonduri alocate de guverne , are în cadrul cooperării Est-Vest un dublu mandat : politic — dezvoltarea democraţiei şi economic — facilitarea tranziţiei la economia de piaţă. BERD a diversificat mult operaţiunile în ţările fost comuniste, printre care şi România. A ajuns la concluzia că în continuare trebuie preferate investiţiile în conservarea energiei, care sînt şi mai sigure sub aspectul returnării banilor.

Dintre problemele controversate : (1) nu are încă criterii clare de selecţie a proiectelor, (2) în ciuda unui „staff" de circa 600 persoane nu finanţează proiecte mai mici de 5 mil. USD, care sînt tipice în domeniul economiei de energie şi regenerabilelor şi (3) este prea mult implicată în proiecte electronucleare.

John Willis, de la Greenpeace International Nuclear Compaign (Anglia), pledează cu argumente solide pentru adoptarea deciziilor investiţionale pe baza aşa-numitei planificări integrate a resurselor (IRP = Integrated Resource Planning) ; în loc de a produce electricitate la cel mai mic cost financiar, trebuie furnizate „servicii electrice" la cel mai mic cost, ţinînd seama de ansamblul efectelor, atît în sfera producţiei, cît şi a consumului.

Analiza trebuie începută cu prognoze ale consumului şi, de asemenea, ale tehnicilor de conservare, dar nu pe baza extrapolărilor (metode econometrice), ci separat, pe fiecare categorie de receptoare de energie, incluzîndu-se şi o cercetare a tendinţelor în respectivele servicii.

Opţiunile de conservare prin îmbunătăţirea eficienţei energetice se vor analiza şi în raport cu gradul de participare a la finanţare din partea consumatorului, societăţii de electricitate etc. Aceste opţiuni se vor integra (compara) cu acelea din sectorul de producere a energiei, observîndu-se costurile financiare, economice şi ecologice la producător şi respectiv la consumator.

c) Acţiuni şi soluţii vizînd eliminarea centralelor electronucleare din Europa de Est

Între 1990 şi 1992 Comunitatea Europeană a cheltuit 202 mil. ECU pe „securitatea reactoarelor" din CSI şi Europa de Est. Încă 123 mil. se prevăd pentru anul 1993. Deoarece există studii suficiente care arată deficienţele majore, ireparabile, ale acestor reactoare,iar cheltuielile de reabilitare a CNE Kozlodui, Bohunice, şi Temelin au avut un efect minor asupra nivelului de siguranţă, lumea începe să înţeleagă că banii reprezintă în fapt o subzistenţă pentru industria de profil din Europa de Vest, văzută ca „un raţoi şchiop".

În ciuda evidenţelor, Rusia vrea să aplice un program de modernizare pînă în anul 2000 a centralelor existente, iar pînă în 2010 să crească capacitatea CNE de la 20 000 MW, în prezent, la 43 000 MW. Evident, cu concursul firmelor Siemens/KWU, Westinghouse şi Framatome.

Pe de altă parte, din ce în ce mai mulţi experţi cu autoritate propun soluţii pentru demolarea treptată a CNE din Est. Cu argumente serioase. De exemplu :

Înlocuirea celor 16 reactoare RBMK. Acestea au produs 93,2 TWh în 1989, adică 5% din energia produsă în CSI. Variante de rezolvare a problemei :

A — ameliorarea nivelului actual de securitate ;

B — înlocuirea cu reactoare din Vest, PWR sau Candu ;

C — înlocuirea cu opţiuni nenucleare : ciclu combinat ; ciclu termic convenţional (abur) ; măsuri de conservare a energiei) ;

D — combinaţie de C) în care ponderea principală o are cogenerarea cu ciclu combinat, inclusiv reabilitarea reţelelor de gaze naturale pentru reducerea pierderilor de la peste 6% la sub 1%.

Concluzia : În regim de urgenţă (5 ani), varianta B ar necesita 8,8 — 45 mld. USD comparativ cu 7,5 — 8,8 în varianta D.

Înlocuirea a 10 — 20 reactoare de tipul celui de la Cernobîl (RBMK) prin introducerea pe scară largă în CSI a lămpilor şi tuburilor fluorescente de mare eficienţă energetică. Lămpile fluorescente compacte se recuperează în Vest în circa 6 luni din economiile de energie. Întreaga operaţie ar costa 4—8 mld. USD, dacă lămpile şi tuburile se aduc din Vest, sau 70 mil. USD, dacă fabricaţia ar fi organizată în CSI.

Oprirea realizării CNE Temelin (Republica Cehia). Se apreciază că terminarea acestui proiect va compromite în Cehia resursele alternative pe următorii 20 de ani. Nici sub aspect ecologic (SO_2) CNE nu se justifică : reducerea pe care o oferă CNE Temelin este, pe ansamblu, de 20%, în timp ce, cu aceleaşi fonduri, există soluţii pentru o reducere de 80%. În Cehia intensitatea energetică este de peste două ori mai mare decît în Comunitatea Europeană.

Este criticată și Banca Mondială, care nu susține deschis proiectul, dar acordă împrumuturile necesare. Țările vecine care nu au CNE (Italia și Austria) sînt de asemenea interesate, ca și firma Westinghouse.

Cereri pentru dezafectarea CNE Kozlodui. Profesorul Uzunov, șeful catedrei de fizică nucleară de la Universitatea din Sofia, susține cu argumente serioase un plan pentru „abandonarea de urgență" a producției de energie în reactoarele nucleare de la Kozlodui. Cu cei 12 155 MW instalați în centrale convenționale, la care se mai pot adăuga 420 MW ai unui grup termoenergetic și 865 MW în hidrocentrale, aflate în construcție, Bulgaria, cu un consum la vîrf de maximum 7000 MW, nu are nevoie de Kozlodui. În țară există suficient cărbune, iar potențialul de economisire a energiei este apreciabil.

În vara anului 1992, centrala Kozlodui de 3760 MW s-a confruntat cu avarii și reparații „eterne", mai ales la grupurile de 1000 MW, astfel încît producția medie a fost de numai 200 MW (!). Reactorul nr. 5 de 1000 MW a fost oprit într-un an de 47 de ori, realizînd un indice de disponibilitate de numai 30 %.

Institutul Eco — Darmstadt a calculat că abandonînd producția în Kozlodui, Bulgaria ar trebui se importe electricitate de cel mult 700 mil. DM, în timp ce pentru funcționarea centralei la standardele europene ar fi necesare 3400 mil. DM/an.

d) Preocupări naționale pentru utilizarea eficientă a energiei

POLONIA

Fundația Poloneză pentru Eficiența Energetică estimează că în anul 1990 în Polonia s-au folosit 33—43 MJ pentru fiecare USD produs brut, adică de circa 3 ori mai mult decît în vestul Europei. În același timp, Polonia face parte din grupul de țări cel mai puternic poluate din Europa. Din cele 110,5 kg SO_2/locuitor produse în anul 1990, 59,3 kg reveneau centralelor electrice.

Principalele obiective strategice stabilite de guvern sînt următoarele :

* prețuri de piață pentru purtătorii de energie ;
* liberalizarea producției de cărbune ;
* restructurarea și privatizarea sectorului energiei.

S-a ajuns la prețuri apropiate de cele din Vest în condițiile în care în Polonia venitul mediu este de 200 USD/loc.

Deși profitabile, investițiile în conservarea energiei sînt rare, motiv pentru care Fundația insistă pentru crearea unui Fond pentru Eficiență Energetică. Fondul ar putea fi alimentat dintr-o suprataxă de 1—2% pe combustibili și dintr-o parte a subsidiilor acordate pentru încălzirea urbană.

Un proiect de cooperare deosebit de interesant prin prisma rezultatelor obținute angajează un district din Franța (Franche-Compté) și unul din Polonia (Bielsko-Biala). Se are în vedere eficiența și politica energetică pentru ansamblul de utilități ale orașului și locuitorilor. Din partea franceză participă delegația ADEME din orașul Besançon, iar din cea poloneză responsabilii politici și tehnici ai orașului și voievodatului Bielsko-Biala. Delegatul ADEME, Gérard Magnin, prezent la discuții, a lansat proiectul unei cooperări între 100 de orașe europene. Între acestea se numără deja și orașul Bistrița din România.

UNGARIA

Politica energetică a Ungariei, prezentată Parlamentului în iunie 1991, se bazează pe cinci elemente strategice :

* diversificare
* îmbunătățirea eficienței energetice
* liberalizarea prețurilor
* protecția mediului
* reorganizarea și reglementarea

În 1989 intensitatea energetică a fost de patru ori mai mare în Ungaria decît media pe ansamblul OECD (Ian Brown, Centrul Energiei ungaro/CEE din Budapesta). În perioada de tranziție intensitatea energetică a crescut și mai mult. Pentru ameliorarea situației se încearcă renunțarea la o parte din industriile de prelucrare primară (oricum, tehnologic depășite) și prin creșterea eficienței energetice. Agenția de Stat pentru Securitate Energetică estimează că două treimi din reducerea intensității energetice se vor obține prin restructurare, cealaltă treime prin creșterea eficienței. S-a ajuns la concluzia că eficiența nu poate crește numai pe seama prețurilor. Este nevoie de acces la capital și la informația tehnologică.

Recent creatul Hungary-European Comunity Centre din Budapesta va oferi pregătire pentru managerii energeticii (în Ungaria existau și în vechiul regim) și programe de informare.

Un studiu întocmit în anul 1990 de un colectiv ungaro-danez, arată că potențialul de economisire a energiei în apartamentele din prefabricate este de 35%, cu cheltuieli care se pot recupera în maximum 10 ani. Majoritatea apartamentelor deservite de rețeaua de termoficare nu dispun de nici o formă de contorizare sau reglare a căldurii.

Prin programul PHARE se realizează un proiect demonstrativ de introducere a contoarelor și regulatoarelor de energie termică (robinete de radiator termostate) la cîteva blocuri de apartamente din cinci orașe. În Eger, compararea consumurilor a două blocuri vecine (unul fără aparate de măsură și control) arăta o diferență de 40% în decembrie. Rețeaua de termoficare din Budapesta are pierderi de căldură cuprinse între 30% și 40%.

38% din emisiile de SO_2 și 20% din cele de NO_x revin centralelor electrice. Nu există încă o politică a mediului aprobată de Parlament. Un element-cheie al acestei politici va fi reprezentat de noua lege a mediului ambiant ; se speră ca aceasta să fie votată în acest an.

dr. ing. JEAN CONSTANTINESCU

Cărți noi

Preocupări privind istoria științelor și tehnicilor sînt întîlnite astăzi în multe țări.

În Franța, pentru cunoașterea evoluției științei și tehnicii electricității a fost constituită o organizație la care participă multe personalități, „Association pour l'histoire de l'électricité en France".

Totodată, prin colocvii cu participare internațională se propagă cultivarea istoriei domeniului și în alte țări.

Un prim colocviu a avut loc între 15 și 17 aprilie 1986 la Paris, cu tema „1880—1980 UN SIÈCLE D'ÉLECTRICIÉ DANS LE MONDE", la care au participat din România dr. ing. Călin Mihăileanu și ing. Paul Cartianu cu comunicarea „Les debuts de l'utilisation de l'électricité dans le territoire de la Roumanie en meme temps que dans les grands pays industrialisés".

Un al doilea colocviu cu tema „ÉLECTRICITE ET ÉLECTRIFICATION DANS LE MONDE" s-a ținut la Paris la data de 3—6 iulie 1990. Au fost prezentate 42 de comunicări dintre care 12 din Franța, iar 30 au provenit din alte diferite țări.

Ing. Paul Cartianu și dr. ing. Călin Mihăileanu au prezentat la secția „Savants et ingénieurs de l'électricité" comunicarea „La surprenante constitution de la science de l'électroicité" cu referiri și la contribuția savanților români.

Materialul colocviului constituie un volum de 444 pagini, tipărit în condiții de înaltă calitate, apărut la Paris în urmă cu cîteva luni.

Dintre comunicări unele reprezintă contribuții științifice, care merită să fie larg cunoscute.

Dorim ca activitatea istorică desfășurată în Franța să impulsioneze editarea celor două lucrări privind Istoria Electrificării, care așteaptă de mulți ani tipărirea la Editura Academiei Române și la Editura Tehnică.

Subliniem că de la „Istoria energeticii și electrotehnicii în România pînă în anul 1950", editată în 1981, nu s-a mai tipărit altă carte de istorie a energeticii și electrificării.

ing. PAU CARTIANU

De personis

RADU IORGULESCU
1941 – 1993

În ziua de 2 iunie 1993, a dispărut fulgerător dintre noi, în plină activitate, cel ce a fost inginerul Radu Iorgulescu, director general al Direcției Generale de Transport și Distribuție a Energiei Electrice din cadrul RENEL.

S-a născut la București la 30 martie 1941. A urmat cursurile liceului Gheorghe Șincai și apoi Institutul Politehnic—Facultatea de Electroenergetică, pe care a absolvit-o în anul 1962.

După absolvirea facultății a lucrat la Bicaz ca angajat al Întreprinderii de Centrale Electrice Bistrița, de unde în 1963 a venit la Întreprinderea de Rețele Electrice București. Aici s-a remarcat prin pregătire, capacitate și seriozitate în muncă, toate acestea impunînd promovarea ca șef de secție și director de exploatare.

Rezultatele deosebite și calitățile de care a dat dovadă au impus transferarea sa ca șef de serviciu în Ministerul Energiei Electrice și apoi consilier la Consiliul de Miniștri.

Din 1983 a revenit în sectorul energetic operativ unde a lucrat pînă în ultima clipă.

Peste tot unde a lucrat s-a impus prin vederi avansate, contribuind esențial la modernizarea rețelelor electrice de distribuție cît a lucrat la I.R.E.B. și la modernizarea în general a rețelelor electrice și a activității din sistem după revenirea în Centrala Insustrială de Rețele Electrice în cadrul Serviciului de Investiții.

A fost unul dintre cei care s-au străduit și au reușit ca instalațiile de 750 kV să devină o realitate în țara noastră.

După decembrie 1989 a fost unul dintre cei care au contribuit substanțial la transformarea Ministerului Energiei Electrice în Regie Națională de Electricitate, mai întîi ca director general al Grupului de control al RENEL, apoi promovat ca Director General al Direcției Generale de Transport și Distribuție a Energiei Electrice. A dovedit corectitudine, competență, conștiinciozitate și exigență, contribuind la creșterea prestigiului Direcției Generale în cadrul RENEL.

A fost tot timpul preocupat de modernizarea activității Direcției Generale, introducînd noi forme de conducere, atît în Direcția Generală, cît și în filiale, încurajînd inițiativele și ideile de înnoire.

Inginerul Radu Iorgulescu, prin tot ce a realizat, rămîne un exemplu pentru noi toți, colaboratorii și colegii lui de muncă.

Pe lîngă calitățile profesionale pe care le-a demonstrat, Radu Iorgulescu a fost și un „om în sensul propriu al cuvîntului, cu alese calități, un bun și adevărat coleg și prieten al celor din jur, apreciat de către toți cei care l-au cunoscut.

A fost un optimist și un luptător care a abordat cu curaj și seriozitate toate greutățile care i-au stat în cale.

Devotat vieții de familie, prietenilor și colegilor, inginerul Radu Iorgulescu lasă în urma lui un gol imens, iar timpul, acest balsam al durerilor sufletești, nu-l va putea șterge din memoria noastră și a tuturor celor ce i-au fost alături.

Din partea colectivului DGTDEE

DIRECTOR,
ing. OVIDIU MARINESCU

Redacția revistei ENERGETICA se asociază aprecierilor și regretelor exprimate de colectivul DGTDEE. Subliniem faptul că Radu Iorgulescu a fost și un mare prieten și susținător activ al revistei noastre, dovedind o deosebită receptivitate pentru cultura tehnică și științifică.

Redactor-șef,
dr. ing. EUGENIU PAVEL

SOMMAIRE

EDITOTRIAL 151—152

L'ENERGIE DANS L'ENTREPRISE

CORNELIA IONESCU, IULIAN FLORICEL : Possibilités d'étude des régimes des fonctionnement des certaines installations de chaufage inductif en utilisant les méthodes numeriques 153—166

RESEAUX ELECTRIQUES

DORIN CRISTESCU, RADU RUSAN : L'impact des lignes electriques aerienne sur l'environnement 167—175

TEODOR MIHAI ERHAN, VICTOR BÎRLĂDEANU, ELENA ERHAN : Les courants de court-circuit. Leur variation et influence dans les systemes électro-énergetiques 176—179

CORNELIU VELICESCU : Determination de la continuite dans l'alimentation en energie des systemes interconnectes 180—183

OPINIONS

PETRE UNGUREANU : Point de vues en ce qui concerne les conférences et les congrès internationaux concernant les problèmes de l'energie (avec un commaintaire par dr. Călin Mihăileanu) 184—187

MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES

LIVIU MĂGUREANU : Symposium roumain-allemand 188

JEAN CONSTANTINESCU : Point de vue et tendences manifestées pendant la conférence „Vers une politique énergetique durable en Europe" 189—193

NOUVEAUX LIVRES

PAUL CARTIANU : Contribution roumaines dans une publication étrangère pour l'histoire de l'électricité 193

CHRONIQUE

CONSTANTIN OSTAP : Fondation de l'association „Technique et humanisme" aus Jassy 175, 179

DE PERSONIS 194

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕДОВАЯ СТАТЬЯ 151—152

ЭНЕРГЕТИКА НА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

КОРНЕЛИЯ ИОНЕСКУ, ЮЛИЯН ФЛОРИЧЕЛ: Возможности исследования режимов работы установок индукционного нагрева с использованием численных методов 153—166

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ДОРИН КРИСТЕСКУ, РАДУ РУСАН: Влияние воздушных электропередач на окружающую среду 167—175

ТЕОДОР МИНАЙ ЕРХАН, ВИКТОР БЫРЛЭДЯНУ, ЕЛЕНА ЕРХАН: Токи короткого замыкания. Их изменение и влияние в электроэнергетических системах 176—179

КОРНЕЛЮ ВЕЛИЧЕСКУ: Установление непрерывности электроснабжения в объединенных системах 180—183

МНЕНИЯ

ПЕТРЕ УНГУРЯНУ: Точки зрения в связи с международными съездами и конференциями энергетического профиля 184—187

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

ЛИВИУ МЭГУРЯНУ: Румынско-немецкий симпозиум 188

ДЖАН КОНСТАНТИНЕСКУ: Точки зрения и тенденции на конференции „К долгосрочной энергетической политике в Европе" 189—193

НОВЫЕ КНИГИ

ПАУЛ КАРТИАНУ: Румынский вклад в иностранной публикации по истории электричества 193

ХРОНИКА

КОНСТАНТИН ОСТАП: Создание общества „Техника и гуманизм" в г. Яссы 175, 179

ЛИЧНОСТИ 194

CONTENTS

EDITORIAL 151—152

ENERGY IN ENTERPRISES

CORNELIA IONESCU, IULIAN FLORICEL : Ways of Studying Some Inductive Heating Outfits Operating Conditions by Means of Numerical Methods 153—166

ELECTRICAL NETWORKS

DORIN CRISTESCU, RADU RUSAN : Overhead Lines Impact on the Environment 167—175

TEODOR MIHAI ERHAN, VICTOR BÎRLĂDEANU, ELENA ERHAN : Short-circuit Currents. Their Variation and Influence on the Electric Power Systems 176—179

CORNELIU VELICESCU : Determination of the Electric Energy Supply Continuity in Interconnected Systems 180—183

OPINIONS

PETRE UNGUREANU : View Points on Energy International Conferences and Congresses (commented by dr. Călin Mihăileanu) 184—187

EVENTS

LIVIU MĂGUREANU : Romanian-German Symposium 188

JEAN CONSTANTINESCU : Opinions and Tendencies Stated within the conference "Towards a Lasting Energy Policy in Europe " 189—193

NEW BOOKS

PAUL CARTIANU : Romanian Participation to a Foreign Publication for the Electricity History 193

CHRONICS

CONSTANTIN OSTAP : Creation of the „Technics and humanism" association in Iași 175, 179

DE PERSONIS 194

INHALT

LEITARTIKEL 151—152

ENERGIEWIRTSCHAFT IN OKONOMISCHEN BETRIEBEN

CORNELIA IONESCU, IULIAN FLORICEL : Möglichkeiten zum Studium der Betriebregime von Anlagen für induktive Heizung unter Verwendung von numerischen Methoden 153—166

ELEKTRISCHE NETZE

DORIN CRISTESCU, RADU RUSAN : Beeinflussung der Umwelt durch elecktrische Freileitungen 167—175

TEODOR MIHAI ERHAN, VICTOR BÎRLĂDEANU, ELENA ERHAN : Kurzschlussströme — Schwankungen und Beeinflussung von elektroenergetischen Systemen 176—179

CORNELIU VELICESCU : Departminierung der Stromversorgungskontinuität in Verbundsystemen 180—183

MEINUNGEN

PETRE UNGUREANU : Meinunge betreffend Kongresse und internationale Konferenzen in Energiewirtschaftsbereich (Kommentiert von dr. Călin Mihăileanu) 184—187

TECHNISCH-WISSENSCHAFTLICHE VERANSTALTUNGEN

LIVIU MĂGUREANU : Deutsch-Rumänisches Symposium 188

JEAN CONSTANTINESCU : Meinungen und Richtungen, die während der Konferenz „Für eine dauerhafte Energiewirtschaftspolitik in Europa" veröffentlicht wurden 189—193

NEUE BÜCHER

PAUL CARTIANU : Rumänische Beiträge in einer ausländischen Veröffentlichung über die Geschichte der Elektrizität 193

CHRONICS

CONSTANTIN OSTAP : Gründung des Vereins „Technik und Humanismus" aus Jassy 175, 179

DE PERSONIS 194

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁR ÉS KÖZPONT 1883 ORSZÁGOS

HIDROCONSTRUCTIA S.A.

103-105 Calea Dorobanti
Sector 1 Code 71.223
Bucharest Romania

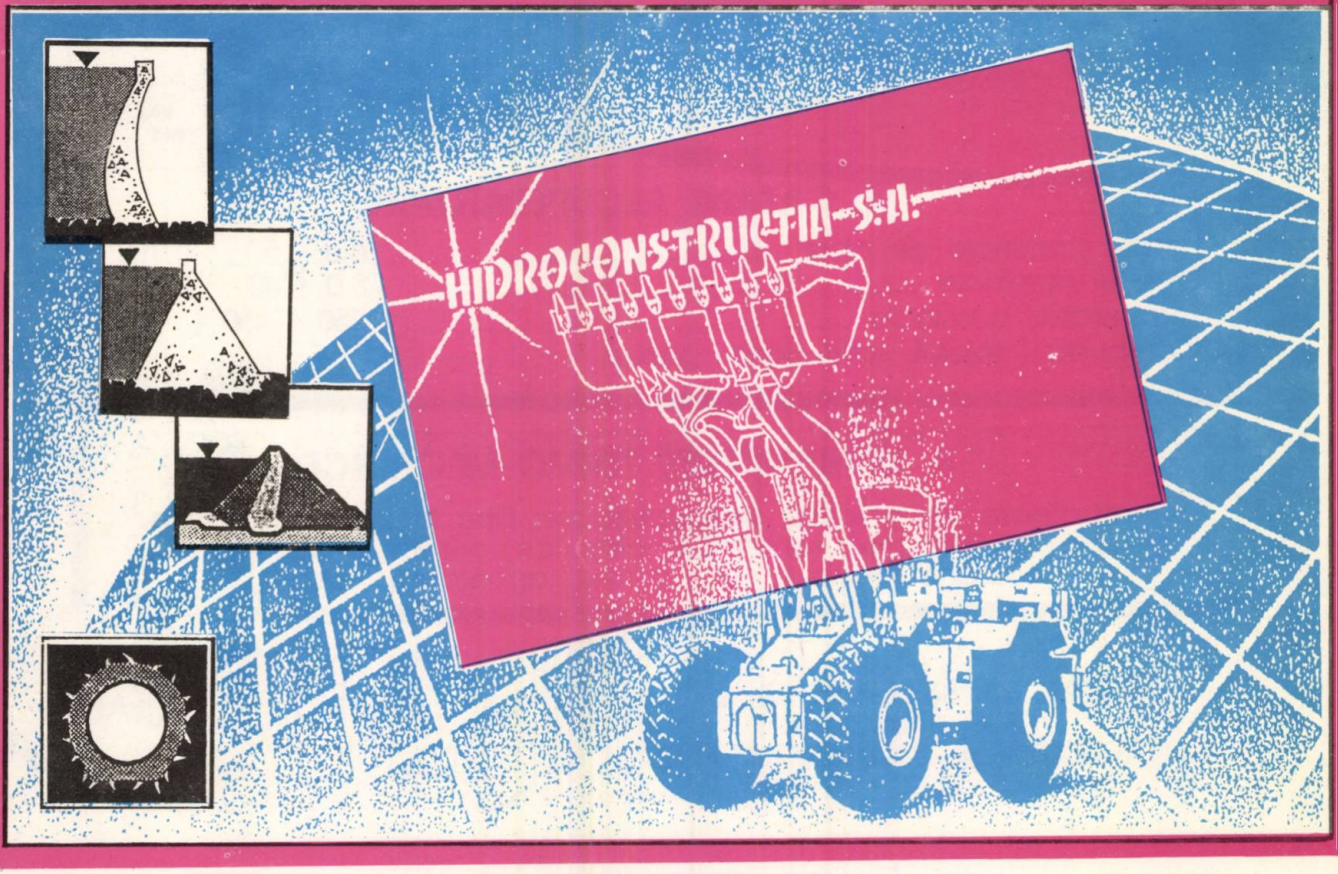
Tel:(40-1) 679.64.30
Telex:10244 R
Fax:(40-1-) 312.9764

Execută:

* BARAJE DIN BETON (de greutate, in arc, cu contraforti)
* BARAJE DIN PAMINT, ANROCAMENTE SI ALTE MATERIALE LOCALE
* CENTRALE HIDROELECTRICE DE SUPRAFATA SI SUBTERANE
* ECLUZE, PORTURI, DRAGAJE
* CANALE, CONDUCTE, BLINDAJE
* GALERII DE ADUCTIUNE, DE FUGA, GALERII SECUNDARE, PRIZE DE APA
* STATII DE POMPARE, SISTEME DE IRIGATII
* LUCRARI DE FORAJE SI INJECTII
* LUCRARI SPECIALE: INCINTE BATARDOURI CELULARE, DEROCARI SUB APA BETOANE PRECOMPRIMATE
* ECRANE DE ETANSARE, PERETI MULATI
* STATII DE SORTARE SI ALTE INSTALATII TEHNOLOGICE
* DRUMURI, AUTOSTRAZI, PODURI, VIADUCTE
* CONSTRUCTII INDUSTRIALE SI CIVILE
* CONFECTII METALICE, PREFABRICATE DIN BETON, AGREGATE
* SCULE DE MINERIT, BURGHIE
* TRANSPORTURI AUTO DE MARFURI SI MATERIALE
* ACTIVITATE DE TURISM

A executat:

115 CENTRALE HIDROELECTRICE CU O PUTERE INSTALATA DE 5.850 MW
118 BARAJE CU O CAPACITATE DE RETENTIE DE 10.800.000.000 MC



FONDAT 1904

Vulcan s.a.
BUCUREST

FONDAT 1904

1. CAZANE INDUSTRIALE:

Debite nominale de abur	1 - 105 (t/h).
Presiuni nominale	8 - 40 (bar).
Temperaturi nominale	220 - 450 (°C).

Combustibili folositi: solizi, lichizi.

2. CAZANE ENERGETICE:

Debite nominale de abur	120 - 1100 (t/h).
Presiuni nominale	9.8 - 137 (bar).
Temperaturi nominale	540 - 550 (°C).

Combustibili folositi: solizi, lichizi, gazosi.

3. CAZANE DE APA CALDA SI FIERBINTE:

Debite nominale de caldura	0.015 - 103.2 (Gcal/h).
Presiuni nominale	2 - 20 (bar).
Temperaturi nominale	90 - 150 (°C).

Combustibili folositi: solizi, lichizi, gazosi.

Pentru termoficarea locuintelor, gospodariilor individuale si a serelor:

NOU

CAZANE VECO.
CAZANE SIGMA.
CENTRALE TERMICE MOBILE 3 Gcal/h.

ISCIR

TÜV

4. CAZANE RECUPERATOARE:

Debite nominale de abur	6.5 - 50 (t/h).
Presiuni nominale	8.0 - 40 (bar).
Temperaturi nominale	250 - 450 (°C).

Combustibili folositi: solizi, lichizi, gazosi.

1994 AUG 05

5. ECHIPAMENTE TERMO-MECANICE:

Schimbatoare de caldura; preincalzitoare; filtre ionice, de curatire, de sare, cu pat mixt; rezervoare cilindrice, orizontale si verticale; coloane ionice si cu pat mixt; agitatoare, etc...

ADRESA: Str. Sebastian, Nr. 88,
76305 - Bucuresti.
Tel. 7815388; Fax. 3120185; Tlx. 11127

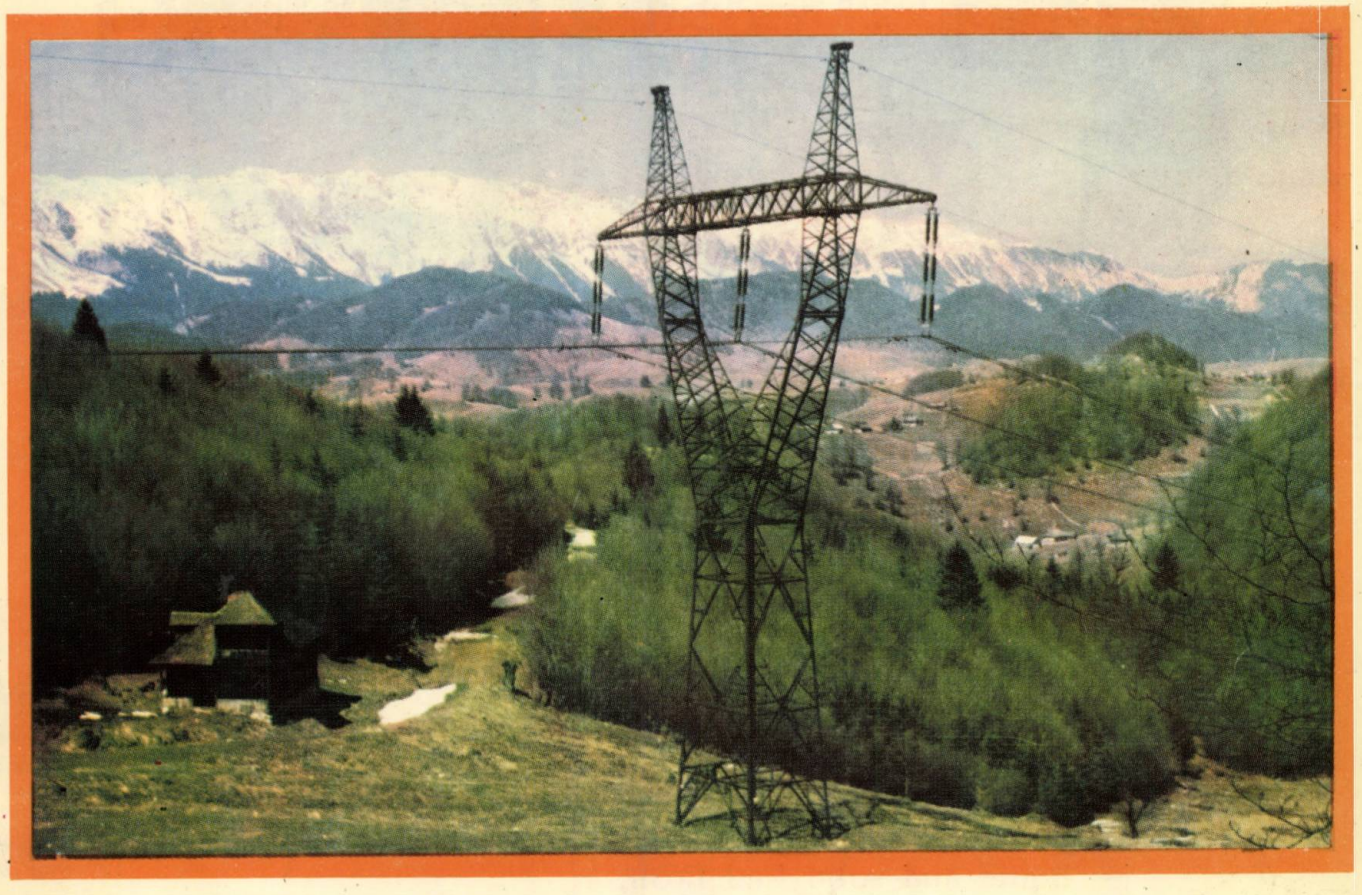
SE ASIGURA:
MONTAJ, GARANTIE,
SERVICE POST-GARANTIE.

E 2039/A

ANUL
41

energetica

seria B



5

septembrie – octombrie 1993

Energomontaj S.A. Company

SNEM

BUCHAREST - ROMANIA

ENERGOMONTAJ S.A. COMPANY performes erection, commissioning, repair and intervention works for:

- heavy, middle small weight metallic structures;
- boiling systems of high and very high pressure and temperature;
- hydromechanical equipments;
- steam, gas and hydraulic turbines;
- rotary aggregates having temperature and pressure high parameters for fluids drawing;
- pipe systems for liquids circulation, with pressure up to 20 MPs and temperature up to 570°C;
- liquid and solid fuel farm;
- low, mean and high voltage electric installations;
- instrumentation.

SNEM

Energomontaj S.A. Company

71223 Calea Dorobanţilor 103-105 O.P. 63
BUCUREŞTI · ROMÂNIA

Tel: 6797020 Telex: 11335 Fax: (400) 3129766

OMSZÁGOS KÖZPONT 1883 KÖNYVTÁR INFORMATIKAI

ENERGETICA

REVISTA DE SPECIALITATE
A ENERGETICIENILOR
DIN ROMÂNIA

ANUL 41 | NR. 5, SERIA B | SEPTEMBRIE—OCTOMBRIE 1993

ISSN : 1220—5141

Revista ENERGETICA a fost înființată în anul 1953, continuînd tradiția vechilor publicații inginerești care au avut preocupări în domeniul energiei, ca de exemplu :
— Diaru pentru vulgarizarea științelor naturale și fizice (1870—1882) ;
— Buletinul Societății Politehnice (1887 1944) ;
— Buletinul Asociației Generale a Inginerilor din România — AGIR (1919—1946) ;
— ENERGIA, editată de ing. Dumitru Leonida (1921) ;
— Buletinul Asociației Producătorilor si Distribuitorilor de Energie Electrică— APDE (1932—1944) ;
— Buletinul Institutului Român de Energie — IRE (1933—1944)

Opiniile exprimate în articolele publicate în revista ENERGETICA aparțin autorilor acestora.

Orice reproducere integrală sau parțială, prin indiferent ce procedeu, a materialelor apărute în revista ENERGETICA poate fi făcută numai cu aprobarea biroului de redacție. Sînt autorizate numai citările destinate lucrărilor științifice și volumelor în care acestea sînt inserate.

Revista apare alternativ în două serii :
— seria A, care tratează probleme de surse de energie, conversie de energie, poluare a mediului înconjurător, utilizare a căldurii etc. ;
— seria B, care tratează probleme electrice, inclusiv ale centralelor electrice, stațiilor electrice, ale liniilor de transport și distribuție a energiei electrice, sisteme electroenergetice etc.
Fiecare serie are 6 numere pe an.

CUPRINS

EDITORIAL 199

APLICAȚII ALE SISTEMELOR EXPERT ÎN ENERGETIC

MIRCEA EREMIA, MIHAI SĂNDULEAC : Introducerea sistemelor expert Aspecte generale 200—215

MIHAI MOGA, LIVIU VARSANDAN : Contribuții privind realizarea unor sisteme expert pentru operațiile de reconfigurare a rețelelor electrice de distribuție 216—222

VIRGIL MUȘATESCU, MIHAIL POPESCU, ILIE PRISECARU : Sistem expert pentru diagnoza condensatorului grupului DSL-50 223—227

MIHAI SĂNDULEAC, MĂLINA IFTIMIE, MARIUS IFTIMIE : Rețele neuronale feed-forward și Kohonen — soluții de implementare și studii de comportament 228—236

TERMINOLOGIA ENERGETICĂ

* * * Propuneri de terminologie în domeniul inteligenței artificiale 237—238

DIN ENERGETICA MONDIALĂ

MIRCEA EREMIA, MIHAI SĂNDULEAC, EUGENIU PAVEL : Preocupările CIGRE în domeniul utilizării tehnicilor inteligenței artificiale 239—240

COSTIN MOȚOIU : Date și comparații — o întreprindere de electricitate performantă — ESKOM 241—242

DE LA COMITETUL NAȚIONAL ROMÂN AL CIGRE 243

INFORMAȚII 215, 242

RECENZIE 244—245

Our review publishes ADVERTSMENTS for your PRODUCTS, TECHNOLOGIES, SERVICES, etc.
Please, contact us at the address:
Revista ENERGETICA
ICEMENERG, B-dul Energeticienilor nr. 8,
București III, RO 79619
Phone: 322.06.92; 321.69.66.\251
Fax: 00400129315
Telex: 10783

COLEGIUL DE REDACȚIE

BIROUL DE REDACȚIE: dr. ing. Eugeniu PAVEL — președinte, redactor-șef; prof. dr. ing. Dumitru Cezar IONESCU-redactor-șef adjunct; dr. ing. Jean CONSTANTINESCU — redactor-șef adjunct; ing. Nicolae NICULESCU-secretar de redacție; ing. Gabriel POPESCU — reprezentant RENEL; dr. ing. Ioan GANEA — director Editura Tehnică; ing. Mihai NICOLAU — reprezentant ICEMENERG

MEMBRI: prof. dr. ing. Victor ATHANASOVICI; conf. dr. ing. Adrian BADEA; prof. dr. ing. Cornel BIANCHI; ing. Iuliu BLECHTAL; ing. Paul CARTIANU; ing. Mircea CÂRDU; chim. Mihai CHIRICA; dr. ing. Mihai CONSTANTINESCU; ing. Vladimir CONSTANTINESCU; prof. dr. ing. Dorin CRISTESCU; prof. dr. ing. Nicolae DĂNILĂ; dr. ing. Mario DUMA; ing. Alexandru FLORESCU; dr. ing. Laurențiu GOIA; dr. ing. Dan GOLICIU; prof. dr. ing. Dumitru IVAS; dr. ing. Gheorghe LUCA; dr. chim. Maria MAFTEI; dr. ing. George MANOLESCU; ing. Alexandru MIHĂILĂ; ing. Cornel MOȚIU; prof. dr. ing. Costin MOȚOIU; conf. dr. ing. Virgil MUȘATESCU; prof. dr. ing. Viorel NEGRU; conf. dr. ing. Valeriu NISTREANU; ing. Cornel PÎSLARU; prof. dr. ing. Alexandru POEATĂ; dr. ing. Teodor POPA; dr. ing. Marius POMÂRLEANU; dr. ing. Anca POPESCU; ing. Constantin POPESCU; ing. Miron POPESCU; ing. Gabriel ROMAȘCU; ing. Anton ROȘU; ing. Margarios SALGIAN; ing. Anton VLĂDESCU; ing. Gheorghe VOICU; ing. Dinu VOINEA

Redactor: Ana Maria CHIVU

Redacția și administrația:
ICEMENERG, B-dul Energeticienilor nr. 8, sect. 3, CP 79619, București
Telefon: 322 06 92; 321 69 66/251
Telex: 10783; Fax: 00400 129315

SC. UNIVERSUL S.A. — c 3894

EDITORIAL

Așa cum am mai arătat în editorialul precedent, noua tehnologie pentru conducerea și comanda instalațiilor care se materializează prin ceea ce numim inteligență artificială și în particular prin sistem expert se impune din ce în ce mai mult.

Problema este foarte actuală și forurile internaționale de specialitate au preocupări intense în acest domeniu.

Pentru exemplificare, în cuprinsul acestui număr se prezintă pe scurt preocupările CIGRE.

Revista ENERGETICA a încercat ca prin intermediul unei mese rotunde să dea posibilitatea specialiștilor și experților să poarte o discuție liberă asupra acestui subiect, care considerăm că este necesar să devină actual și pentru energetica românească.*

Sperăm ca sensibilizarea specialiștilor din învățămînt, cercetare, proiectare, exploatare și celelalte domenii să devină efectivă, pentru ca introducerea unei astfel de tehnologii în practica energeticii românești să devină o realitate cu rezultate benefice cunoscute.

Redactor-șef

Dr. ing. EUGENIU PAVEL

---

*Masa rotundă cu titlul „Aplicațiile sistemelor expert în sistemele electroenergetice" a avut loc în ziua de 24 iunie a.c. în sala mare a Academiei Române.

Au fost de față specialiști din diversele sectoare de activitate ale energeticii. S-a prezentat un număr de 13 referate și s-au purtat discuții ample și în același timp interesante (amănunte pot fi obținute direct de la redacție). Din păcate pentru prezentul număr al revistei, dat fiind spațiul redus, nu au putut fi reținute pentru publicare decît cîteva lucrări.

Interesul manifestat în această problemă obligă revista să ofere în continuare paginile sale pentru aplicații și realizări.

Introducerea sistemelor expert — aspecte generale

Prof. dr. ing. MIRCEA EREMIA*, ing. MIHAI SĂNDULEAC**

Lucrarea prezintă conceptele generale necesare abordării de către specialiștii energeticieni a aplicațiilor pe bază de sistem expert și rețele neuronale. În final este prezentat stadiul actual și perspectivele unor noi aplicații în domeniul electroenergeticii.

The paper presents general concepts concerning expert systems and neural networks applications for the electrical engineering use. The actual development stage and future tendency in power systems are also presented.

Introducere

Introducerea, în anii '70, a tehnicilor de estimare a stării a creat baza de date pentru simularea funcționării sistemelor energetice cu date în timp real și începînd din 1980 suportul pentru dispeceri în managementul acestora. În această direcție aplicațiile inteligenței artificiale (IA), în general, și a sistemelor expert (SE), în particular, capătă un interes din ce în ce mai mare. Se constată că deși sectorul energetic a adoptat mai lent noua tehnologie a sistemelor expert — sisteme bazate pe cunoștințe — asistăm astăzi la o explozie a cercetărilor în acest domeniu.

Accidentul din 1979 de la centrala nucleară Three Mile Island a arătat că omul are anumite limite greu de depășit fără a apela la ajutorul calculatoarelor. Această afirmație se bazează pe faptul că volumul însemnat de mesaje sau informații de natură foarte diversă (semnalizări acustice, luminoase, măsurători electrice, de presiune, de temperatură, funcționări de protecții prin relee și altele) pe care trebuie să le prelucreze într-un timp relativ scurt, fac dificilă munca și uneori chiar imposibilă luarea de decizii corecte de către inginerii și operatorii din centralele, stațiile electrice și dispecerele energetice.

Analiza cauzelor care au determinat accidentul amintit a impulsionat un proiect american EPRI (Electric Power Research Institute), astfel că în 1980 a apărut primul sistem expert (SE) aplicat în energetică. În continuare, numărul acestora a sporit continuu: NPPC (Nuclear Power Plant Consultant) — Consultant în asistarea operatorilor din centralele nucleare pentru stabilirea cauzelor unor avarii (1982, Georgia Institute of Technology); REACTOR — pentru diagnosticarea accidentelor într-un reactor nuclear (1982, EG and Idaho) și altele.

În ceea ce privește aplicațiile lor în domeniul rețelelor electrice, în 1983 japonezii prezintă primul sistem expert pentru reconstituirea stării unui sistem electric după o avarie, pentru ca în 1986 să se producă „explozia", americanii lansînd un SE pentru **asistarea deciziilor în controlul tensiunii și puterii reactive și altul pentru diagnosticarea defectelor în rețelele electrice pe baza informațiilor referitoare la funcționarea protecțiilor prin relee,** specialiștii francezi realizînd programul SEPT — **pentru analiza incidentelor și diagnosticarea funcționării protecțiilor prin relee și altele.**

Potrivit concluziilor sondajului realizat în cadrul CIGRE în anii 1986—1987, motivația de a implementa tehnicile de sistem expert rezultă în principal pentru problemele caracterizate de următoarele proprietăți [1]:

— Date inconsistente: acesta este cazul diagnozei și prelucrării alarmelor, unde rolul sistemelor expert este de a extrage informația utilă dintr-un mănunchi de date incomplete sau probabil conflictuale. În acest scop nu este disponibilă încă nici o tehnică convențională.

— Complexitatea structurii sistemului energetic: sistemul expert poate modela cunoștințele specialistului uman pentru a ajuta la o rapidă identificare a regiunilor slabe dintr-un sistem energetic.

— Natura combinatorie a soluțiilor: un exemplu este restaurarea stării de funcționare

* Facultatea Energetică, Universitatea Politehnică București
** Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice

după o avarie în sistem, care necesită o strategie de căutare într-o problemă multidimensională. În acest sens se construiesc scenarii ale stărilor posibile şi se caută soluţia în spaţiul acestor stări. În figura 1 este prezentată o sinteză a argumentelor pentru adoptarea sistemelor expert în domeniul energetic [1].

domeniul analizei securităţii dinamice, au fost identificate şi alte domenii de aplicare, ca de exemplu : în prognozarea sarcinilor,controlul şi diagnosticarea defectelor, analiza contingenţelor şi altele.

În conceperea şi introducerea sistemelor expert în energetică trebuie avut în vedere

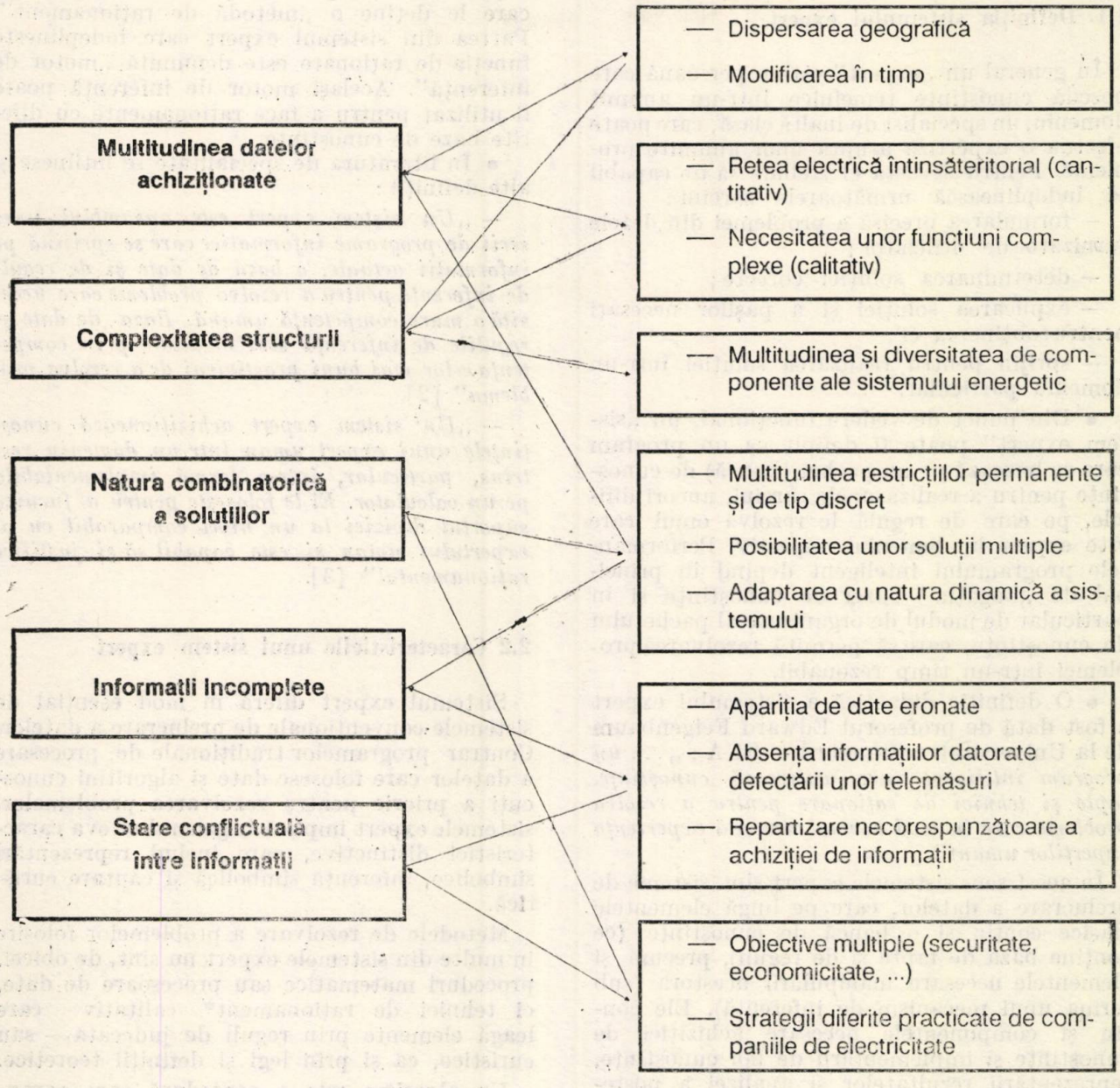


Fig. 1. Necesitatea şi justificarea adoptării unui sistem expert în energetică.

În paralel cu sistemele expert, în ultimii ani au apărut aplicaţii ale reţelelor neuronale artificiale în domeniul sistemelor electrice. Folosirea reţelelor neuronale artificiale pare promiţătoare în tratarea multitudinii de informaţii din reţelele electrice, utilizînd învăţarea off-line şi operarea foarte rapidă în timp real. Pe lîngă permanent că omul va rămîne principalul element de decizie, sistemul expert asistîndu-l în această activitate în situaţii excepţionale (incidente, avarii etc.) sau rutiere pentru a-l elibera de anumite sarcini şi a-i da posibilitatea să se concentreze pe acele activităţi care implică în mod necesar elementul uman în

alegerea și executarea acțiunilor. Sistemul expert trebuie considerat ca un auxiliar și nu ca o alternativă la funcțiile actuale ale dispecerilor.

1. Concepte generale

1.1. Definiția sistemului expert

În general un „expert" este o persoană care posedă cunoștințe temeinice într-un anumit domeniu, un specialist de înaltă clasă, care poate efectua o expertiză asupra unor anumite probleme. Pentru aceasta el trebuie să fie capabil să îndeplinească următoarele sarcini :

— formularea precisă a problemei din datele furnizate de utilizator ;

— determinarea soluției corecte ;

— explicarea soluției și a pașilor necesari pentru obținerea ei ;

— sprijin pentru realizarea soluției într-un domeniu particular.

• Din punct de vedere funcțional, un „sistem expert" poate fi definit ca un program care se bazează pe un pachet (bancă) de cunoștințe pentru a realiza unele sarcini, uneori dificile, pe care de regulă le rezolvă omul care este expert în domeniul respectiv. Performanțele programului inteligent depind în principal de „bogăția" bazei de cunoștințe și în particular de modul de organizare al pachetului de cunoștințe, care să permită rezolvarea problemei într-un timp rezonabil.

• O definiție didactică a sistemului expert a fost dată de profesorul Edward Feigenbaum de la Universitatea Standord — SUA : „... *un program inteligent care utilizează cunoștințe, fapte și tehnici de raționare pentru a rezolva probleme care în mod normal necesită experiența experților umani*".

În acest sens sistemele expert sînt sisteme de prelucrare a datelor, care pe lîngă elementele clasice conțin și o bancă de cunoștințe (ce conține baza de fapte și de reguli), precum și elementele necesare manipulării acestora (sub forma unui mecanism de inferență). Ele conțin și componentele necesare achiziției de cunoștințe și implementării de noi cunoștințe, reprezentării rezultatelor și analizei a posteriori unui proces de obținere a expertizei (componenta explicativă).

Asemănător expertului uman care, bazîndu-se pe cunoștințele pe care le posedă, prin raționamentul (judecata) propriu ajunge la anumite concluzii, un sistem expert se bazează pe cunoștințele înglobate și pe mecanismul de inferență, care are funcția de a lua decizii în urma unor procese de raționamente logice.

Într-o expertiză întreprinsă de un specialist uman, acesta se bazează pe „memoria sa pe termen lung", alcătuită din fapte, din structuri și reguli, care corespunde în structura unui SE la „baza de cunoștințe". Sistemul expert imită procesul de gîndire al expertului uman. Pentru a rezolva problema care i s-a pus, expertul uman aplică asupra cunoștințelor pe care le deține o „metodă de raționament". Partea din sistemul expert care îndeplinește funcția de raționare este denumită „motor de inferență". Același motor de inferență poate fi utilizat pentru a face raționamente cu diferite baze de cunoștințe.

• În literatura de specialitate se întîlnesc și alte definiții :

— „*Un sistem expert este ansamblul unei serii de programe informatice care se sprijină pe informații actuale, o bază de date și de reguli de inferență pentru a rezolva probleme care necesită o mare competență umană. Baza de date și regulile de inferență sînt modelate prin competența celor mai buni practicieni de a rezolva problema*" [2].

— „*Un sistem expert achiziționează cunoștințele unui expert uman într-un domeniu restrîns, particular, într-o formă implementabilă pe un calculator. El le folosește pentru a furniza suportul deciziei la un nivel comparabil cu al expertului uman și este capabil să-și justifice raționamentul*" [3].

2.2 Caracteristicile unui sistem expert

Sistemul expert diferă în mod esențial de sistemele convenționale de prelucrare a datelor. Contrar programelor tradiționale de procesare a datelor care folosesc date și algoritmi cunoscuți a prioric pentru rezolvarea problemelor, sistemele expert implică în general cîteva caracteristici distinctive, care includ reprezentări simbolice, inferență simbolică și căutare euristică.

Metodele de rezolvare a problemelor folosite în multe din sistemele expert nu sînt, de obicei, proceduri matematice sau procesoare de date, ci tehnici de raționament* calitativ — care leagă elemente prin reguli de judecată — sau euristice, ca și prin legi și definiții teoretice.

Un algoritm este o procedură care garantează fie găsirea soluției corecte a unei probleme într-un timp dat, fie spune că nu există

* Raționament — o înlănțuire de judecăți (propoziții) în care plecînd numai de la anumite cunoștințe — consemnate într-un număr de propoziții numite premise — se ajunge la o cunoștință nouă — exprimată printr-o propoziție numită concluzie. Un raționament este corect dacă și numai dacă concluzia derivă din premise.

soluție. Pe de altă parte, metodele euristice, deși nu garantează funcționarea, vor găsi mai adesea soluții în timp mai scurt decît printr-o căutare exhaustică și metode de eroare sau alți algoritmi.

În general, diferența dintre un program analitic și un sistem de tip expert constă în :

— sistemul expert folosește datele din „baza de fapte" filtrate printr-un set de cunoștințe acumulate, independente de algoritmul de rezolvare utilizat, cunoștințe înmagazinate într-o „bază de cunoștințe" ;

— algoritmul de căutare, denumit motor de inferență, nu mai este de tip iterativ, ca în cazul programelor analitice, ci de tip convergent ;

— în cadrul programelor convenționale cunoștințele legate de problemă și metodele de rezolvare sînt „amestecate", ceea ce face ca orice modificare ulterioară a programului să fie dificilă. Datorită unei delimitări nete între elementele componente (reguli, bază de date, motor de inferență), un sistem expert poate fi modificat prin simpla adăugare sau extragere de reguli, fără a fi necesară rescrierea programului. Conceperea unui sistem expert este un proces linear, realizat iterativ prin discuții repetate cu experți umani pentru dezvoltarea bazei de cunoștințe ;

— toate operațiile logice și matematice care se succed în găsirea unui răspuns se aduc la cunoștința utilizatorului printr-un modul explicativ independent „interfață cu utilizatorul".

Indiferent de diferitele definiții ale sistemelor expert, există patru caracteristici ce califică un program drept „sistem expert" :

— lucrează la nivel expert de competență ;

— folosește un mecanism de inferență pentru a realiza deducția ;

— expertiza efectuată de un SE se bazează pe cunoștințele special dobîndite ;

— programarea SE implică descrierea și prezentarea cunoștințelor unor experți în domeniu ; aceste cunoștințe vor fi păstrate în baza de date pentru utilizarea viitoare.

2.3. Structura unui sistem expert

În general un sistem expert este alcătuit din următoarele module : baza de cunoștințe ; baza de date ; motorul de inferență ; modulul achiziționare cunoștințe ; interfața cu utilizatorul ; module de grafică și calcule (fig. 2).

2.3.1. Baza de cunoștințe

Baza de cunoștințe (BC) cuprinde o colecție de cunoștințe relevante despre un anumit domeniu. Baza de cunoștințe cuprinde reguli și fapte.

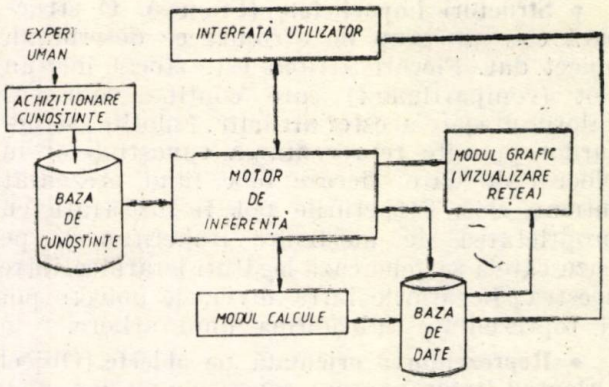


Fig. 2. Structura unui sistem expert.

a. **Regulile** se referă la operațiile ce pot fi efectuate asupra obiectelor conținute în baza de date. Regulile se modifică mai rar, ca urmare, de exemplu, a unor schimbări în regulamentele tehnice. În esență regulile constituie un ansamblu complet și necontradictoriu de cunoștințe necesare rezolvării unei probleme.

Cunoștințele în domeniu pot fi reprezentate sub formă de reguli (sau reguli de producție), rețele semantice, structuri împachetate (frames), programarea orientată pe obiecte.

• Reprezentarea cunoștințelor sub forma unui **sistem de producție bazat pe reguli** (Rule-Based System — RBS) încorporează cunoștințele practice ale unui expert uman sub forma unor reguli condiționale IF—THEN. În general sînt de forma :

DACĂ < condiție >, ... < condiție >
ATUNCI <acțiune>
Exemplu :
DACĂ <întrerupătorul I este deschis>
ATUNCI <deschide separatorul S >

Regulile reprezintă o condiție cu premisă și consecință. Interpretarea unei reguli se face astfel : dacă premisa condiției este îndeplinită atunci consecința constă în executarea acțiunii. Procesul de verificare a coincidenței din partea condiție aparținînd unei reguli și toate faptele din lista de fapte se numește „pattern matching".

• **Rețelele semantice** sînt o structură pentru reprezentarea cunoștințelor sub forma unui graf complex alcătuit din noduri legate prin arce. Nodurile din rețea sînt folosite pentru reprezentarea de obiecte, concepte, atribute, evenimente și stări. Arcele dintre noduri reprezintă relațiile care au loc între obiectele din noduri.

Exemplu : ⟨I — deconectat⟩ separă ⟨Linia⟩

Grafurile și rețelele semantice pot fi organizate ierarhic ; acest lucru permite ca unele atribute să fie moștenite de la tipuri mai generale la tipuri mai specializate.

• **Structuri împachetate (Frames).** O structură este un grup de atribute ce descriu un obiect dat. Fiecare atribut este stocat într-un slot (compartiment) care conține valoarea/valorile atașate acestor atribute. Folosirea structurilor permite reprezentarea cunoștințelor în blocuri de date, fiecare bloc fiind prezentat într-un slot. Structurile pot fi înzestrate cu proprietatea de moștenire (inheritance), pe baza căreia se generează legături ierarhice între acestea. Legăturile între diversele obiecte pot fi reprezentate sub forma unui arbore.

• **Reprezentarea orientată pe obiecte** (Object Oriented Programming) constituie un pas superior în reprezentarea datelor. Caracteristica principală a reprezentării orientată pe obiecte este aceea că unifică într-o aceeași unitate structurală — numită obiect — datele și funcțiile (metodele) care acționează asupra lor. Din punctul de vedere al tehnicii de programare tipurile structurilor amintite se definesc cu ajutorul conceptului de clasă (class)*, iar instanțierea acestor clase sînt obiectele cu care operează programul.

În cazul unui sistem electroenergetic fiecare componentă a acestuia, de exemplu linie de transport, sistem de bare, generatoare, consumatori și altele, poate fi reprezentată ca un obiect echipament (fig. 3).

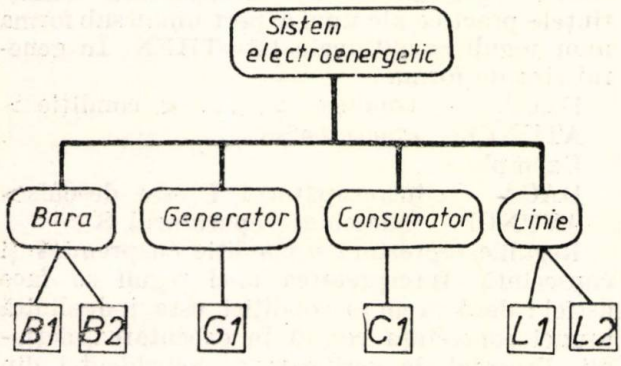


Fig. 3. Reprezentarea prin obiecte a elementelor componente din SEE.

Conceptul de linie de transport este descris în clasa „Linie" și fiecare linie de transport este reprezentată ca o instanță a acestei clase. Pentru exemplificare, în continuare se dau variabilele instanță, respectiv metodele specifice pentru clasa „Linie".

Clasa : Linie
flow circulație de putere
max capacitatea de transport
x reactanța liniei
status starea (în funcțiune, deconectată, defectă)
Metode specifice
energize pune linia în funcțiune
interrupt deconectează linia
fault linia este defectă
overload-check verifică supraîncărcarea

Clasele sau grupurile formează uzual o ierarhie; un grup de la un nivel mai înalt are un număr mai mic de atribute comune decît cel de la un nivel mai jos. Atributele unui grup de la nivel mai înalt sînt „moștenite" la niveluri inferioare.

În practică, majoritatea sistemelor expert folosesc fie reguli, fie frame-uri pentru reprezentarea cunoștințelor (eventual acestea din urmă integrate în rețele semantice) și aceasta pentru că regulile sînt foarte potrivite pentru raționamente, iar frame-urile sînt foarte bune pentru stocarea și manipularea eficientă a cunoștințelor.

Pe baza unor proprietăți ca moștenirea, incapsularea și polimorfismul, reprezentarea orientată pe obiecte asigură o elasticitate mărită în construcția sistemelor expert.

b. Baza de fapte (date) conține informațiile relative la domeniuul de aplicație studiat. Faptele reprezintă partea dinamică a bazei de cunoștințe și au rolul de a reprezenta starea obiectelor la un moment dat. Faptele sînt date normale de tip închis-deschis pentru un echipament de comutație, o alarmă de ieșire din funcțiune a unui echipament, o valoare sau o mărime electrică în afara limitelor admisibile etc. Ele se modifică pe măsură ce stările obiectelor cărora le sînt asociate se schimbă (de exemplu datorită unor avarii, efectuării unor manevre, schimbării configurației de funcționare etc.).

Un fapt are o reprezentare de forma:

⟨Obiect⟩, ⟨Relație⟩, ⟨Valoare⟩

⟨Obiectul⟩ reprezintă o unitate de echipament (întrerupător, separator etc.) a cărui stare poate fi stabilită printr-o semnalizare, verificare sau deducție logică.

⟨Relație⟩ corespunde unei relații între obiecte sau între obiecte și diferite stări în care se pot afla acestea.

⟨Valoarea⟩ starea pe care o poate lua un obiect sursă.

Exemplu: ⟨Întrerupătorul I⟩ ⟨Este în poziția⟩ ⟨CONECTAT⟩

În funcție de domeniul de aplicare, sistemul expert are la dispoziție un anumit număr de fapte referitoare la domeniul respectiv, fapte ce descriu stări sau dau informații de tip cantitativ. O parte din datele din baza de fapte

* *Clasă* — un grup de obiecte cu atribute comune; fiecare obiect aparținînd aceluiași grup este denumit *instanță*.

sînt introduse cu ajutorul dialogului om — mașină, în timp ce altă parte este încărcată automat prin citirea datelor de rețea.

Prin analogie cu programele convenționale, putem spune că faptele reprezintă „datele" problemei. În arhitectura sistemelor expert faptele constituie, alături de unele date numerice aferente modelului problemei abordate, „Baza de date".

În prezent cele mai multe SE dezvoltate folosesc doar cunoștințe declarative. Avînd în vedere că în sistemele electrice există și o mare cantitate de cunoștințe procedurale, apare necesar un nou tip de SE — care să utilizeze ambele tipuri de cunoștințe. De aici, apar două direcții de cercetare: achiziția și procesarea cunoștințelor declarative, pe de o parte, și cuplarea cunoștințelor declarative și procedurale, pe de altă parte.

În cadrul centralelor și rețelelor electrice este disponibil un număr mare de cunoștințe — sub formă de reguli și fapte — a căror utilizare trebuie eficientizată. În acest scop apar următoarele probleme:

— alegerea regulilor și faptelor importante pentru o anumită aplicație; este nevoie de metode de reducere și combinare a cunoștințelor date;

— aducerea la zi a regulilor. Unele reguli se păstrează o perioadă lungă de timp, în timp ce alte reguli se schimbă. Aceste reguli pot fi adesea obținute numai prin modele matematice, care descriu relațiile cauzale dintre obiectele considerate. Aici există o strînsă legătură între cunoștințele declarative și procedurale;

— stabilirea priorității în timp a regulilor și faptelor;

— testarea inconsistenței și integrității.

Prin folosirea ambelor categorii de cunoștințe — declarative și procedurale — apare o funcție nouă „Sistemul de tip consilier". Acesta este un fel de software care ajută pe operator în luarea deciziilor prin folosirea cunoștințelor declarative și procedurale și a mecanismelor corespunzătoare de rezolvare a problemelor. O formă foarte simplă constă în folosirea a două niveluri: un nivel superior pentru aplicarea cunoștințelor declarative sub forma regulilor și faptelor și un nivel inferior pentru cunoștințele procedurale sub forma modelelor matematice ce descriu relațiile cauzale.

2.3.2. Motorul de inferență

Motorul de inferență este un program general care implementează mecanismul prin care se construiesc raționamentele. Motorul de inferență prelucrează cunoștințele și datele pe baza acestor raționamente folosind diferite procedee.

Din regulile existente în baza de cunoștințe se pot construi arbori de inferență care au ca noduri premisele (condiții), iar ca ramuri arce care conectează diferite premise. Nodurile pot fi de tip AND (ȘI) respectiv de tip OR (SAU). Procesul de inferență poate fi vizualizat ca un drum de-a lungul arcelor arborelui cu observația că pentru a trece printr-un nod ȘI trebuie parcurse toate arcele legate între ele prin ȘI. Diferite procedee de inferență traversează acest arbore de decizie în sensuri diferite, de la „rădăcină spre frunze" — căutarea înapoi sau de la „frunze spre rădăcină" — căutarea înainte.

Fie baza de cunoștințe formată din regulile R 1 ... R 9 și baza de fapte formată din faptele cunoscute B și C, respectiv scopul căutat notat cu H.

R 1: dacă B și D și E ⇒F
R 2: dacă D și G ⇒A
R 3: dacă C și F ⇒A
R 4: dacă B ⇒X
R 5: dacă D ⇒E
R 6: dacă A și X ⇒H
R 7: dacă C ⇒D
R 8: dacă X și C ⇒A
R 9: dacă X și B ⇒D

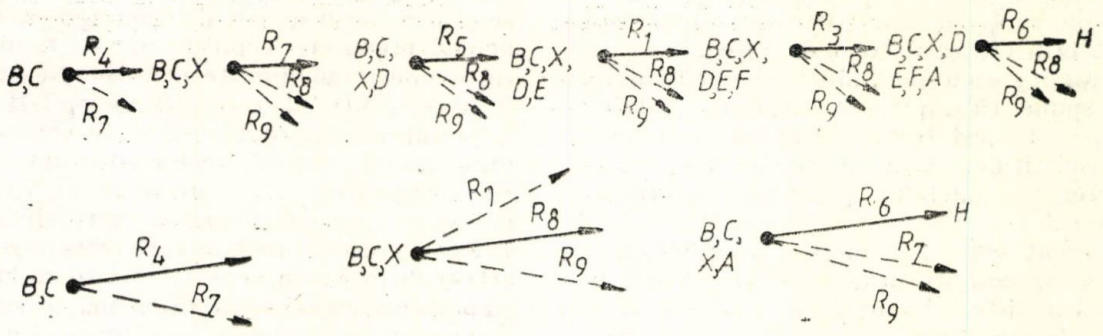
unde B⇒X are semnificația: de la B se poate deduce X.

În figurile 4 *a* și 4 *b* se prezintă două tipuri de arborescențe ce corespund acestui caz. Prin linii continue se reprezintă regulile aplicate, iar nodurile reprezintă diferitele stări ale bazei de fapte. Liniile întrerupte corespund regulilor aplicabile, dar pe care motorul de inferență nu le-a ales spre utilizare.

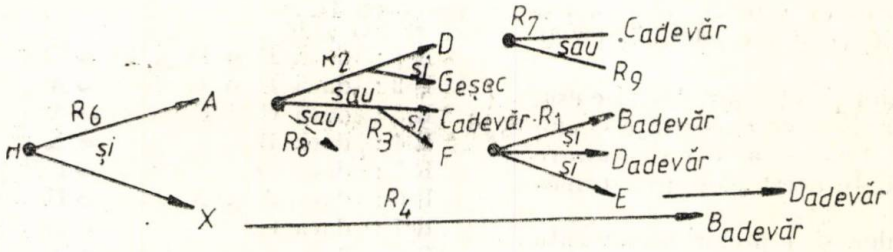
— Procedeul de căutare înainte (fig. 4 *a*) constituie o tehnică de inferență care folosește reguli (Dacă—Atunci) pentru a găsi soluția (H) a unei probleme pornind de la fapte cunoscute (B și C). Astfel, pornind de la B și C folosind regula R 4 se deduce X, respectiv folosind și regula R 7 se deduce D. Pe măsură ce una din reguli este întrebuințată noile fapte se adaugă la baza de fapte.

În stabilirea ordinii de alegere a regulilor în exemplul ales s-au aplicat următoarele strategii: s-a ales fie prima regulă aplicabilă, adică în ordinea lor de numerotare R 4 (R 7), R 7 (R 8, R 9) ..., fie regula cu cel mai mare număr de condiții. Astfel, în al doilea caz se preferă regula R 8 și nu R 7, pentru că are conform bazei de reguli condițiile X și C. În cazul cînd două sau mai multe reguli sînt la egalitate se alege prima regulă. Se consideră „succes" momentul cînd scopul este adăugat la baza de fapte, iar „eșec" cînd nu se mai poate aplica nici o regulă.

— Procedeul de căutare înapoi (fig. 4 *b*), constituie o tehnică de inferență



a) Căutare înainte



b) Căutare înapoi

Fig. 4. Procedee de inferență.

care utilizează reguli (Dacă — Atunci) pentru a diviza în mod succesiv un scop (aici H) în subscopuri echivalente, care sînt mai ușor de demonstrat. Astfel H se reduce prin regula R6 la subscorpurile A și X. La rîndul său scopul A poate fi verificat utilizînd una din cele trei reguli simple R 2, R 3 sau R 8. Strategia utilizată constă în folosirea primei reguli aplicabile (în ordinea numerotării lor), pentru ca în continuare să caute a verifica unul după altul subscopurile astfel produse. În caz de „eșec" (de exemplu subscopul G nu poate să fie dedus în nici un fel), se revine înapoi și ultima regulă lăsată deoparte este încercată la rîndul său. Explorarea arborescenței se oprește cînd scopul inițial este demonstrat (ca în exemplul dat), sau cînd toate posibilitățile au fost explorate fără succes.

Modurile de raționament — de căutare înainte sau căutare înapoi — se reduc la o înlănțuire de cicluri de bază. Un ciclu de bază cuprinde trei faze: de detecție a regulilor posibil de aplicat, alegerea regulii de aplicat cu prioritate și executarea acțiunii. Dacă mai multe reguli sînt aplicabile în același timp, motorul de inferență va trebui să folosească o strategie de rezolvare a conflictelor (conflict resolution strategy).

De asemenea, au fost concepute și dezvoltate mecanisme de inferență inexactă, care lucrează cu coeficienți de încredere în locul valorilor ADEVĂR și FALS.

2.3.3. Alte module

● Interfața cu utilizatorul este porțiunea de cod care permite utilizatorului să pună întrebări sistemului expert, să introducă noi informații sau să primească diferite recomandări de la acesta. Aprecierea utilizatorului asupra unui sistem expert depinde în mare măsură de asemănarea între modul de reprezentare a informațiilor de către SE și modelul pe care utilizatorul îl are în „mintea sa" despre problema care se rezolvă.

● Modulul de achiziționare cunoștințe este partea din SE care permite completarea bazei de cunoștințe cu noi cunoștințe. Acțiunea propriu-zisă de achiziționare a cunoștințelor se realizează prin chestionarea experților umani, obținîndu-se astfel informații despre:

— experiența personală dobîndită prin rezolvarea unor probleme în trecut;

— metode personale și/sau tipuri de expertize pentru problema studiată;

— cunoașterea personală a motivelor care permit alegerea unor metode sau a unei expertize pentru o problemă dată.

Din punct de vedere software, partea de achiziţie de cunoştinţe din SE reprezintă, în cel mai simplu caz, un editor cu ajutorul căruia cunoştinţele pot fi introduse (sau modificate) într-o formă acceptată de limbajul de programare sub care este implementat sistemul expert.

La un nivel mai ridicat, prin achiziţionare de cunoştinţe se înţelege faptul că sistemul expert este folosit de către expert pentru definirea bazei de cunoştinţe; în acest caz se spune să avem un sistem expert cadru (Shell).

● Modulul explicativ. Un SE trebuie, de asemenea, să aibă capacitatea de a furniza explicaţii operatorului în legătură cu raţionamentul folosit pentru a ajunge la o anumită recomandare sau decizie.

Pentru a înţelege proiectarea unui SE este, de asemenea, necesară cunoaşterea rolului persoanelor care interacţionează cu sistemul:

— expertul în domeniu sau inginerul de aplicaţie este persoana sau persoanele care în mod curent sînt experţi în rezolvarea problemelor pe care trebuie să le rezolve sistemul expert; el se ocupă cu actualizarea acestuia, îmbogăţind baza de reguli cu noi cunoştinţe;

— inginerul de cunoştinţe este persoana care colaborează cu expertul în domeniu pentru a codifica baza de cunoştinţe într-o formă declarativă care poate fi folosită de sistemul expert;

— Utilizatorul este persoana care va folosi SE pentru a obţine sfaturile care i-ar fi fost furnizate de expertul în domeniu.

2.4. Reţele neuronale

2.4.1 Principii. Clasificări

Preocupările privind studiul reţelelor neuronale datează din anii 1950, cînd primele cercetări încercau să modeleze funcţionarea creierului, pornind de la structura neuronilor, cu structurile lor sinaptice (creierul uman este constituit din aproximativ 10^{11}—10^{12} neuroni conectaţi într-un mod foarte complicat). A urmat o perioadă destul de lungă, în care studiile pe această temă, deşi au existat sporadic, nu au ieşit la lumină datorită numeroaselor handicapuri la acea vreme privind aplicabilitatea practică a acestora. Astfel, reţeaua neuronală (NN), deşi un model cu prelucrare paralelă, pînă în anii '80 nu a putut fi abordată decît prin simulare pe calculatoare convenţionale, cu prelucrare serială. Pe de altă parte, arhitecturile şi modelele matematice de început ale NN nu erau prea promiţătoare şi rezolvau cazuri prea simple, pentru care erau deja metode adecvate clasice.

În anii '80 însă, se constată creşterea interesului pentru studiul reţelelor neuronale datorită următorilor factori:

— calculatoarele cunoscuseră deja o primă explozie tehnologică, permiţînd simularea procesării paralele prin prelucrări seriale, dar cu mare viteză de calcul;

— procesarea paralelă începuse la rîndul ei să fie disponibilă, datorită creşterii exponenţiale a performanţelor calculatoarelor, precum şi a gradului acestora de integrare;

— mulţi cercetători ce lucrau în domeniul sistemelor expert şi nu numai, descurajaţi de progresele modeste în abordarea simbolică tradiţională, specifică IA (baze de date şi de reguli, exploatate cu un motor de inferenţe) s-au îndreptat spre utilizarea modelelor reţelelor neuronale;

— o serie de descoperiri şi îmbunătăţiri în domeniul arhitecturii NN şi în cel al metodelor matematice folosite au deschis drumul spre noi zone de aplicaţii. Astfel, în 1984 reţelele autoasociative Kohonen, cu facilităţi de autoînvăţare şi ordonare, au deschis drumul spre alte categorii de aplicaţii. În 1986, ca urmare a cercetărilor efectuate la San Diego — Universitatea din California, conduse de David Rumelhart, s-a pus la punct algoritmul „back-error-propagation" de ajustare a ponderilor în reţele asociative, un pas important către aplicaţii dintre cele mai inedite. O serie de alte modele au apărut de asemenea, dovedind de fapt complexitatea şi diversitatea problemei.

Dintre cele mai atractive caracteristici ale NN se menţionează:

— procesare profund paralelă, asigurînd construirea unor arhitecturi deosebit de performante, cu răspunsuri specifice timpului real;

— învăţare prin exemple (supervizat sau nesupervizat) a fenomenului pentru care se antrenează;

— procesul prezentat în perioada de antrenare nu trebuie descris prin reguli clare. Această caracteristică face uşoară modelarea unor procese complexe, ale căror legi de funcţionare sînt fie prea complicate, fie sînt neclare din punct de vedere analitic;

— comportare bună în situaţia unui set de date de intrare incomplet, performanţă datorată capacităţii de a asocia datele de intrare disponibile cu setul (sau seturile) complet (complete) de date de antrenare cu care „rezonează" cel mai bine;

— comportare bună în regim de date de intrare parţial greşite, datorită aceluiaşi mecanism de lucru arătat anterior;

— funcţionare relativ corectă şi în situaţia în care anumiţi neuroni se „defectează", datorită memorării distribuite a informaţiei în reţea. Astfel, orice neuron participă la formarea potenţialelor neuronilor de ieşire pentru toate

seturile de vectori de antrenare. Deteriorarea unui anumit neuron înrăutățește doar într-o mică măsură funcționarea globală, datorită aportului distribuit, dat de toți ceilalți neuroni valizi. Bineînțeles că numărul de neuroni trebuie să fie suficient de mare pentru ca acest caracter redundant să se poată manifesta. Acest ultim aspect, cel al memorării distribuite a informației, este cel care explică și funcționarea corectă de durată a creierului uman, în care celulele nervoase ce mor nu afectează funcția de gîndire în general și totodată nu afectează nici noțiunile memorate.

În continuare se vor prezenta unele noțiuni de bază, clasificări și cîteva exemple mai importante de NN

a) Într-o primă clasificare rețelele neuronale se pot împărți în rețele asociative și autoasociative.

Rețeaua asociativă („feed-forward") este acea rețea care nu are bucle închise sau altfel spus care nu permite aplicarea la o intrare a unui neuron k a ieșirii unui neuron j, dependent de neuronul k(fig. 5 *a*),

Rețeaua autoasociativă (feed-back) este acea rețea care prezintă reacție (ieșirea neuronului j este cuplată la intrarea neuronului k, de care acesta depinde) (fig. 5 *b*).

b) O a doua clasificare este după numărul de suprafețe neuronale (planuri) : cu una, două sau mai multe.

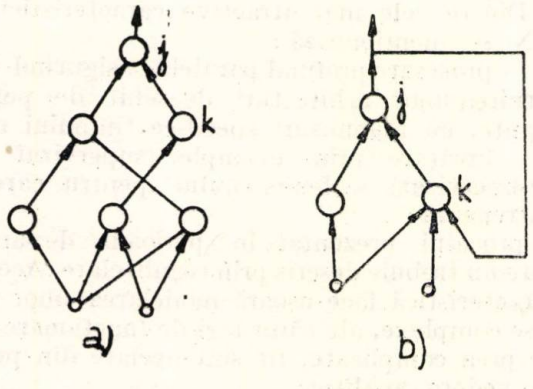
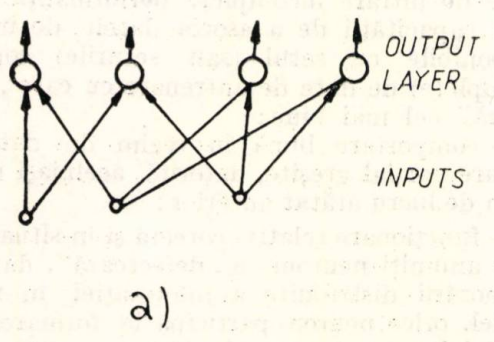


Fig. 5. Rețele neuronale : a) asociativă ; b) autoasociativă



Rețelele neuronale „feed-forward" sînt în general organizate în mai multe suprafețe neuronale (engl. „layers").

Cele mai simple rețele asociative, numite și „single layer" au doar o singură suprafață neuronală (fig. 6 *a*) formată din planul neuronilor de ieșire sau „output layer" ; la acesta se adaugă și planul pasiv al punctelor de intrare.

Structurile mai complicate dețin în plus una sau mai multe suprafețe intermediare, numite și ascunse („hidden-layers"). În figura 6 *b* se prezintă o rețea cu două planuri neuronale, unul din acestea fiind ascuns, utilizatorul neavînd acces la acesta. În practică se dovedește că rețelele „single-layer" nu sînt capabile să modeleze orice fenomen ; aceste situații sunt denumite „hard-learning-problems" și pot să apară chiar și la modelarea unei funcții simple (cum ar fi SAU-EXCLUSIV)

c) Clasificare după funcția de transfer a neuronului, adică dependența ieșirii de intrări („firing rule")

d) Clasificare după modul de învățare : supervizat sau nesupervizat Învățarea nesupervizată este considerată calitativ superioară, ea permițînd dezvoltarea unui hardware distribuit, în care fiecare neuron poate să se antreneze cu posibilitățile sale locale, nu prin intermediul unui nivel superior, cu funcție de supervizare. Această ultimă caracteristică se consideră că este specifică și creierului omenesc.

2.4.2 Modele de neuroni și rețele neuronale

În continuare se prezintă cîteva modele de neuroni și de rețele neuronale, importante din punct de vedere istoric și/sau practic.

a) Modelul de neuron **McCulloch-Pits** (MCP) constituie cel mai simplu model de neuron (propus încă din 1943) [9]. În acest model neuronul are n intrări (sinapse) care sînt ponderate cu coeficienți W_j (fig. 7 *a*). Fiecare sinapsă este excitată de ieșirea unui alt neuron, X_j. Neuronul MCP funcționează astfel : dacă suma $_j(X_j{*}W_j) = X_1{*}W_1 + X_2{*}W_2 + \ldots + X_j{*}W_j + \ldots + X_n{*}W_n > T$ atunci ieșirea se acti-

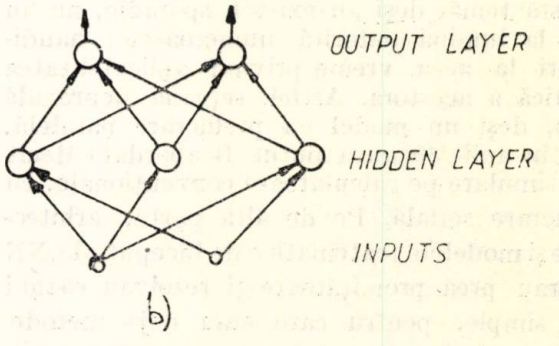


Fig. 6. Rețele neuronale : a) „single layer" ; b) cu suprafață ascunsă (hidden layer).

vează (engl. „fires"), în caz contrar rămînînd neactivată. T este pragul de activare a ieșirii neuronului (engl. „threshold"), iar intrările X_j sînt de tip activat / neactivat, putînd fi asimilate cu valorile binare 1/0.

ieșirilor de pe planul anterior : Out = f(suma $(X_j * W_j)$). Există trei funcții de activare mai utilizate :

— funcția liniară : $f(x) = x$, adică Out = = suma $(X_j * W_j)$

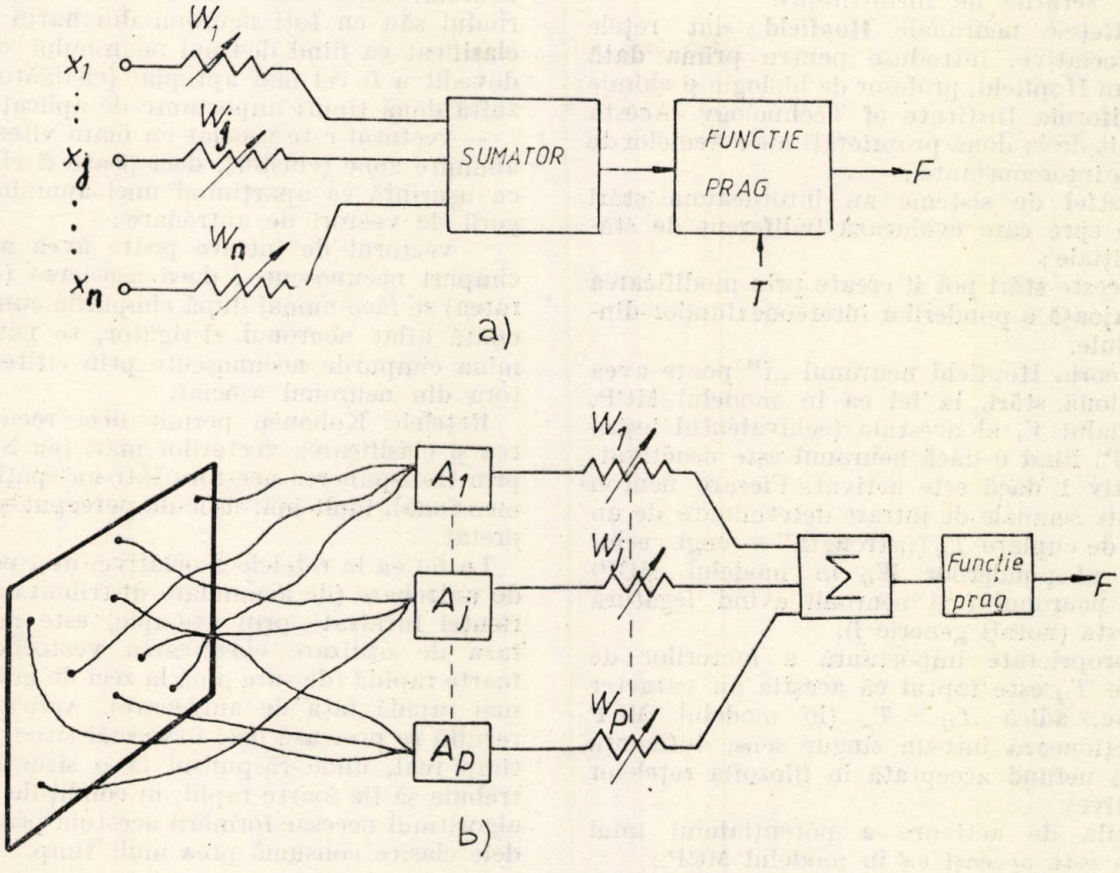


Fig. 7. Modele de neuroni : a) McCulloch-Pits ; b) Perceptron

Pornind de la modelul MCP, cercetătorul Rosenblat a introdus în 1962 noțiunea de perceptron, acesta fiind un dispozitiv de recunoaștere a structurilor, format dintr-un neuron avînd sinapse activate de „unități de asociere" $A_1 \ldots A_p$ (fig. 7 *b*) [9].

b) Rețelele **„feed-forward"** (cunoscute și sub numele de „Multi-Layer-Perceptron" — MLP) obținute din modelele MCP modificate, sînt cele mai răspîndite rețele asociative, existînd deja un număr destul de mare de aplicații (vezi figura 6 *b*, cu două planuri neuronale). Numărul de neuroni din planul inactiv de intrare este dat de numărul de semnale de intrare specific aplicației. Numărul de neuroni din planul final este dat de numărul de ieșiri dorite. Numărul de neuroni din planul intermediar (ascuns) se poate alege pe bază de experiență, funcție de aplicație.

Fiecare neuron își activează ieșirea după o funcție f care depinde de suma ponderată a

— funcția prag : $f(x) = \{1$ dacă $x > T$; 0 altfel$\}$, unde T este pragul de activare, acesta fiind chiar modelul MCP. Rezultă deci :

Out = {1 dacă suma $(X_j * W_j) > T$; 0 altfel}

— funcția sigmoidală $f(x) = 1/(1 + \exp(-x))$ unde x are aceeași semnificație, eventual $f(x) = 1/(1 + \exp(-x)) + u$, unde u este un prag (un echivalent al lui T).

Dacă la intrările rețelei neuronale sînt introduse anumite valori, fiecare neuron promovează la ieșire un potențial dat de funcția de activare aleasă, urmînd ca prin propagare către planul neuronilor de ieșire să obținem un set de potențiale de ieșire corespunzătoare intrărilor date. Bineînțeles că valoarea potențialului la ieșiri depinde în mod esențial de ponderile W_j ale fiecărui neuron.

Scopul final al utilizării unei astfel de rețele asociative este acela de a putea fi antrenată cu seturi de intrări și ieșiri date, care descriu în

mod reprezentativ natura fenomenului. Odată antrenarea efectuată, pentru noi seturi de intrări, ieşirile se vor comporta într-un mod specific experienţei cîştigate. Antrenarea are loc prin modificarea în timp a ponderilor W_j, astfel încît ansamblul să memoreze în mod distribuit seturile de intrări/ieşiri.

c) Reţele neuronale **Hopfield** sînt reţele autoasociative, introduse pentru prima dată de John Hopfield, profesor de biologie şi chimie la California Institute of Technology. Acesta a pornit de la două proprietăţi ale sistemelor de celulele interconectate :

— astfel de sisteme au întotdeauna stări stabile spre care evoluează indiferent de stările iniţiale ;

— aceste stări pot fi create prin modificarea avantajoasă a ponderilor interconexiunilor dintre celule.

În teoria Hopfield neuronul „i" poate avea doar două stări, la fel ca în modelul MCP, potenţialul V_i al acestuia (echivalentul ieşirii la MCP) fiind 0 dacă neuronul este neactivat, respectiv 1 dacă este activat. Fiecare neuron primeşte semnale de intrare determinate de un factor de cuplare T_{ij} („strength" — engl., echivalent al ponderilor W_{ij} în modelul MCP) dintre neuronul i şi neuronii avînd legătură cu acesta (notaţi generic j).

O proprietate importantă a factorilor de cuplare T_{ij} este faptul că aceştia au caracter simetric, adică $T_{ij} = T_{ji}$ (în modelul MCP W_{ij} acţionează într-un singur sens, influenţa inversă nefiind acceptată în filozofia reţelelor asociative).

Regula de activare a potenţialului unui neuron este aceeaşi ca în modelul MCP :

$V_i = 1$ dacă suma $(T_{ij} * V_j) > U_i$

$V_i = 0$ dacă suma $(T_{ij} * V_j) < U_i$,

unde U_i este pragul de activare („threshold") specific neuronului i curent.

d) Reţele neuronale **Kohonen** sînt de tip autoasociativ, care prezintă în plus şi proprietatea de autoînvăţare. Reţelele Kohonen au fost introduse de către profesorul Teuvo Kohonen din Finlanda în 1984. Reţelele Kohonen, numite şi hărţi ordonate, permit clasificarea şi ordonarea unor vectori N-dimensionali în cadrul unei suprafeţe de neuroni.

Modul de antrenare/clasificare a hărţii de neuroni constă în : fiecare vector de antrenare este comparat cu structura fiecărui neuron ; neuronul cel mai apropiat de această structură (în sensul distanţei euclidiene) îşi modifică structura sa şi pe cea a vecinilor săi pentru a se apropia de cea a vectorului exemplu ; pe măsură ce noi vectori sînt prezentaţi hărţii de neuroni, apar mai multe zone (clusters-engl.) în care se regrupează vectori de antrenare ; prin repetarea procesului de reajustare a structurii neuronilor prin recompararea de un număr mare de ori cu setul de vectori de antrenare (sute pînă la mii de cicluri de învăţare graduală), harta de neuroni Kohonen îşi organizează cu acurateţe zonele ce caracterizează diferiţii vectori de intrare.

În modul utilizare (exploatare) a hărţii de neuroni, orice nou vector este comparat la rîndul său cu toţi neuronii din hartă şi este clasificat ca fiind de tipul neuronului care s-a dovedit a fi cel mai apropiat (cîştigător). Rezultă două tipuri importante de aplicaţii :

— vectorul este asociat cu mare viteză unei anumite zone (cluster), deci poate fi clasificat cu uşurinţă ca aparţinînd unei anumite categorii de vectori de antrenare ;

— vectorul de intrare poate avea anumite cîmpuri necunoscute ; dacă asocierea (compararea) se face numai după cîmpurile cunoscute, odată aflat neuronul cîştigător, se pot determina cîmpurile necunoscute prin citirea acestora din neuronul asociat.

Reţelele Kohonen permit deci recunoaşterea şi clasificarea vectorilor mari (cu N mare) prin transpunerea acestora într-un spaţiu bidimensional, mult mai uşor de perceput şi interpretat.

La fel ca la reţelele asociative, deşi perioada de antrenare (de acumulare distribuită a experienţei furnizate prin exemple) este mare, în faza de utilizare clasificarea vectorilor este foarte rapidă (de sute pînă la zeci de mii de ori mai rapidă faţa de antrenare). Aplicaţiile ce rezultă se pretează deci în special situaţiilor de timp real, unde răspunsul la o situaţie dată trebuie să fie foarte rapid, în condiţiile în care algoritmul necesar formării acestuia prin metodele clasice consumă prea mult timp.

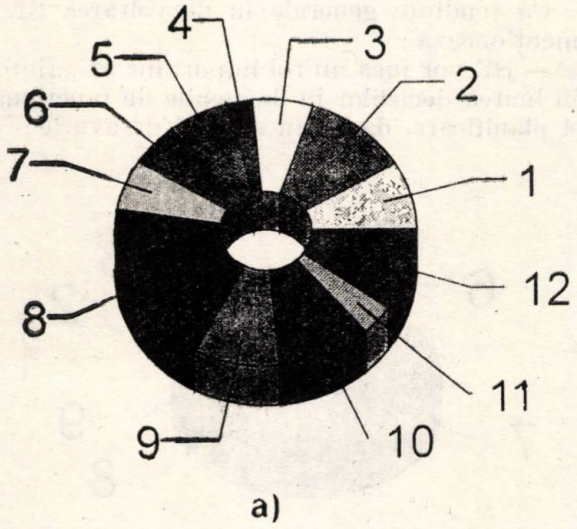
2. Stadiul actual de dezvoltare

Dacă primele articole privind aplicaţiile inteligenţei artificiale în domeniul sistemelor energetice au apărut prin anii '80, la începutul anului 1991 au fost identificate aproape 150 proiecte diferite de sisteme expert, propuse de circa 70 organizaţii de cercetare sau învăţămînt (fig. 8 *a*). Dintre acestea peste 40 fiind într-un stadiu mai avansat (fig. 8 *b*) au fost descrise şi cuprind următoarele probleme : prelucrarea alarmelor şi diagnoza defectelor de sistem ; gradul de securitate al stării statice şi dinamice ; restaurarea stării de funcţionare ; management, programe şi planificare ; monitorizarea şi controlul staţiilor electrice ; medii integrate pentru asistarea operatorilor ; metode de dezvoltare, modele şi echipamente de calcul.

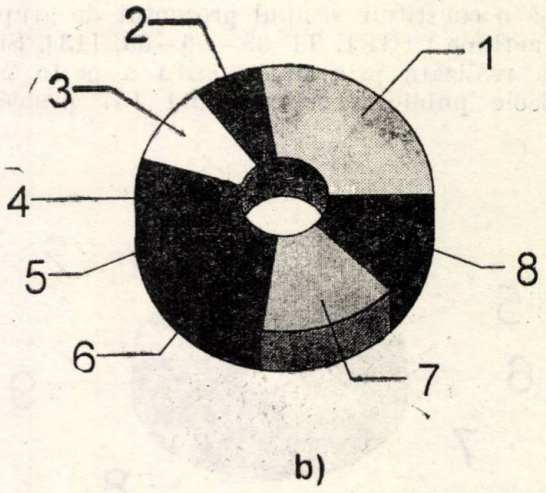
Pornind de la faptul că în domeniul energetic preocuparea dominantă o constitue starea sistemului în ansamblul său şi mai puţin

a echipamentelor constitutive, apare utilă și clasificarea aplicațiilor în funcție de factorul timp [4]:

— aplicațiile în domeniul „funcționării", ce necesită soluționarea sau luarea deciziei într-un interval de timp redus (secunde ,... zile), acoperă circa 45% din preocupările specialiș-



a)



b)

Fig. 8. Ponderea problemelor abordate prin tehnica sistemelor expert rezultate din sondajul CIGRE [5]: a) în cadrul celor 150 proiecte identificate; b) în cadrul celor 40 proiecte descrise (după Germond și Dagmar [5]).

a) 1 — 8,5% management, programare și planificare; 2 — 11,3% metode de dezvoltare, modele și unelte; 3 — 6,4% diagnoza componentelor; 4 — 2,8% supravegherea și controlul stațiilor; 5 — 6,4% reglaje corective; 6 — 5,0% restaurare; 7 — 6,4% centrale electrice; 8 — 19,9% prelucrarea alarmelor și diagnoza sistemului; 9 — 9,2% medii pentru asistent operator; 10 — 9,9% securitate statică și dinamică; 11 — 3,5% proiectare; 12 — 9,9% altele;
b) 1 — 27,5% prelucrarea alarmelor și diagnoza sistemului; 2 — 7,5% supravegherea și controlul stațiilor; 3 — 10% restaurare; 4 — 10% reglaje; 5 — 2,5% diagnoza componentelor; 6 — 15% management, programare și planificare; 7 — 15% securitate statică și dinamică; 8 — 12,5% medii pentru asistent operator.

tilor. Dintre acestea se menționează: estimarea securității, reglajul puterii reactive, restaurarea stării și tratarea alarmelor și altele;

— aplicațiile în domeniul „planificării", în care restricția de timp nu este decisivă (săptămîni ,... ani), acoperind circa 18% din totalul preocupărilor, se referă la: programarea întreținerii, prognoza sarcinii, proiectarea sistemelor și altele.

Un număr important de lucrări, circa 37%, se referă la procesul de „diagnoză" sau „diagnosticare" al echipamentelor, în special al generatoarelor și liniilor de transport.

În acceptarea utilizării sistemelor expert în domeniul energeticii un rol important îl au suportul teoretic, hardware-ul și software-ul acestora.

În prezent reprezentarea cunoștințelor din „Baza de cunoștințe" se realizează fie prin reguli de producție (circa 45%), fie prin structuri (frames, circa 11%), fie prin rețele semantice (circa 11%) și alte metode (33%). Se constată că regulile de producție sînt dominante. Motivația rezultă din faptul că cunoștințele unui expert uman se pot formaliza cu ușurință prin reguli de producție DACĂ ... ATUNCI și cei mai mulți experți gîndesc astfel.

În evaluarea unui sistem expert de către un utilizator, hardware-ul și software-ul necesar joacă un rol important. Software-ul utilizat poate fi de două feluri: limbaje de programare și mijloace ale inteligenței artificiale. Limbajele de programare folosite pot fi clasificate în limbaje convenționale ca FORTRAN, PASCAL sau C și limbaje ale inteligenței artificiale ca LISP, PROLOG sau OPS. Conform [1], procentul de aplicație este de 28% pentru LISP, 25% — PROLOG, 25% — FORTRAN, 10%, — C, 6% — PASCAL și 6% — altele.

Se constată, deci, că niciunul dintre limbaje nu este folosit în exclusivitate; limbajul de programare folosit depinde, pe de o parte, de experiența proiectantului și, pe de altă parte, de hardware-ul și software-ul disponibil.

Aplicarea sistemelor expert în domeniul energetic necesită adesea un hardware puternic. După autorii lucrării [4] ponderea diferitelor tipuri de calculatoare utilizate este: calculatoarea numerice — VAX (27%), IBM (15%), APOLLO (9%), CDC 6%);, SUN (5%), calculatoare simbolice — SYMBOLICS (11%) și alte calculatoare (27%).

În ordine stațiile de lucru de uz general (gpWS general workstation) sînt folosite în 40% dintre proiecte, PC-urile situîndu-se cu 25% pe locul doi, iar stațiile LISP WS (dedicated AI workstation) specializate în 15% din proiecte.

Avantajul stațiilor de lucru de uz general și al noii generații de PC-uri rapide este mediul

versatil și prietenos cu utilizatorul, asigurînd totodată folosirea oricărui limbaj de programare. Ambele categorii depășesc acum în performanțe vechile calculatoare, iar costul stațiilor de lucru a scăzut la nivelul calculatoarelor personale.

În ceea ce privește aplicațiile rețelelor neuronale în sistemele electrice, o lucrare de referință o constituie studiul prezentat de grupul de acțiune CIGRE TF 38—06—06, [13]. Sinteza realizată prin investigarea a peste 200 articole publicate, reprezentînd 157 proiecte prototipuri. Pentru a fi acceptate de către utilizator asemenea aplicații trebuie să fie pe de o parte utile și ușor utilizabile și pe de altă parte fiabile; în același timp trebuie să se integreze cu adevărat în mediul de lucru și să conducă la creșterea eficienței activității utilizatorului.

Ca tendințe generale în dezvoltarea SE se menționează:

— SE vor juca un rol important ca „ajutor" în luarea deciziilor în domeniile de funcționare și planificare, dar și în situații de avarie;

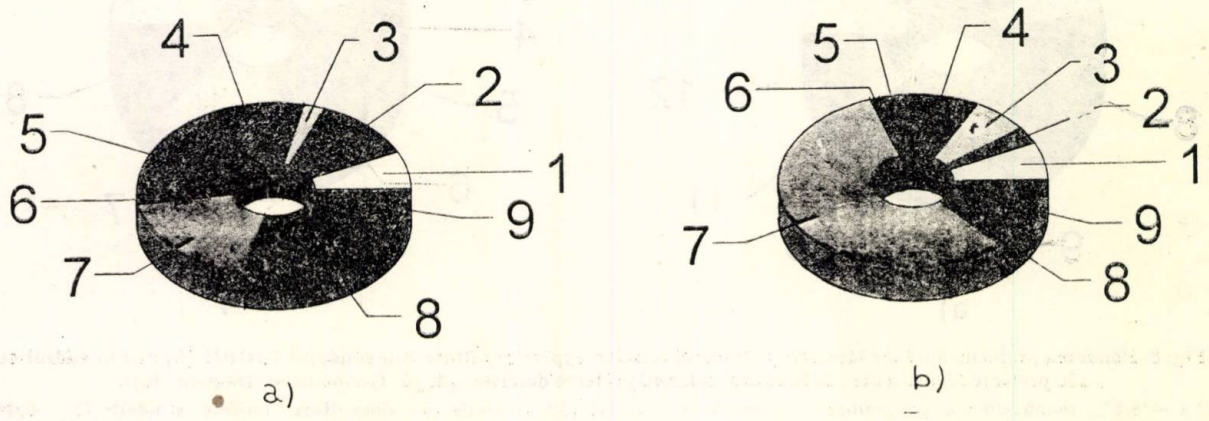


Fig. 9. Ponderea problemelor abordate (a) și tehnicilor utilizate (b) în cadrul aplicațiilor rețelelor neuronale [13].
a) 1—7% planificarea funcționării; 2—12% identificarea sistemului; 3—2,5% prelucrarea alarmelor; 4—14% diagnosticarea defectelor; 5—15% control; 6—2% protecții; 7 — 19% evaluarea siguranței în funcționare; 8 — 20,5% prognozarea sarcinii; 9 — 8% altele; b) 1 — 7% fuzzy; 2 — 3% recurență; 3 — 7% Kohonen; 4 — 9% rețele Hopfield; 5 — 3% rețelè cu legături funcționale; 6 — 1% memorii asociative; 7 — 56% error-back-propagation; 8 — 2% mașini Boltzman; 9 — 12% altele.

diferite, cuprinde atît principalele domenii de aplicație (fig. 9 a), cît și gradul de utilizare al modelelor de rețele neuronale (fig. 9 b).

Din totalul aplicațiilor circa 40% se referă la domeniile prognozării sarcinii și a evaluării siguranței în funcționare.

În ceea ce privește tehnicile utilizate, cel mai utilizat apare modelul MLP cu „back-error-propagation".

În loc de concluzii

Deși în ultimii ani au apărut o mulțime de lucrări în domeniul aplicării sistemelor expert și a rețelelor neuronale, ca tehnici specifice inteligenței artificiale, este totuși greu de a se trage concluzii și a preciza tendințele viitoare. Mulți specialiști apreciază că aplicare a acestora în electroenergetică este încă în perioada de început, multe dintre ele fiind în stadiu de

— pentru o folosire eficientă a SE se impune o colaborare strînsă între cercetători, realizatori și utilizatori;

— avînd în vedere, pe de o parte, importanța economică și, pe de altă parte, perioada relativ lungă de dezvoltare (de circa 2—3 ani), politica folosită adeseori „așteaptă și privește" trebuie depășită!;

— deși nu există încă un domeniu preferențial de aplicație, ariile de interes special sînt: reglajul U — Q, procesarea alarmelor și monitorizare, diagnosticarea defectelor în centralele și rețelele electrice, evaluarea securității statice și dinamice a sistemului, restaurarea stării sistemului după o avarie, programarea întreținerii și antrenarea operatorilor din centrale, stații electrice și dispecerate.

În ceea ce privește tehnica rețelelor neuronale, conform [13], o tendință promițătoare o reprezintă îmbinarea acesteia cu celelalte tehnici specifice IA, sistemele expert și logica Fuzzy.

BIBLIOGRAFIE

[1] Tamura, Y. s.a. *An International Survey of the Present Status and the Perspective of Expert Systems on Power System analysis and techniques.* In: Electra, vol. 123, March 1989.

[2] Sheble, G. B. *L'intelligence artificielle une solution aux problèmes de conduite des réseaux.* In: IEEE vol. PWR—2, No. 4, Nov. 1987.

[3] Dillon, T. S. *Expert Systems — Potential and Limitations in the Application to Power Systems.* Symposium on Expert Systems Application to Power Systems. Stockholm — Helsinki, 1988.

[4] Bretthauer, G., Handschin, E., Hoffman, W. *Expert Systems Application to Power Systems — State of the Art and Future Trends.* International Symposium on Control of Power Plants and Power Systems. IFAC, March, 1992, Münich.

[5] Germond, A. J., Niebur, D. *Survey of Knowledge-Based Systems in Power Systems: Europe.* In: Proceedings of the IEEE, vol. 80, No. 5, May 1992.

[6] Dillon, T. S., Laughton, M. A. *Expert System Applications in Power Systems,* N.Y. Prentice Hall, 1990.

[7] Zhang, Z., Hope, G., Malik, O. *Expert Systems in Electric Power Systems — a Bibliographical Survey.* In: IEEE Trans. on Power Systems, vol. 4, 1989.

[8] * * * *Integration des techniques de l'inteligence artificielle dans la conduite et la gestion des réseaux électriques.* In: Journée d'études, Societé des Electriciens et des Electroniciens, 25 mars 1993, Paris.

[9] Aleksander, I. *An introduction to Neural Computing.* Champan & Hall, 1990.

[10] Blayo, F., Demartines, P. *Simulation de réseaux de neurones artificiells.* In: Bulletin SEV/VSE 83 (mars 1992).

[11] Lehmann, C. *GENES, un accelerateur systoloque pour les réseaux de neurones.* In: Bulletin SEV/VSE 83 (mars 1992).

[12] Mayoraz, E., Guenin, B. *Simulation et réseaux de neurones.* In: Bulletin SEV/VSE 83 (Mars 1992).

[13] * * * *Artificial Neural Networks for Power Systems* A Literature Survey. CIGRE-TF 38.06.06, July 1993.

[14] Eremia, M. *Tehnici noi în transportul energiei electrice.* Note de curs, 1993.

(Primit la 13 iulie 1993, acceptat la 12 august 1993)

PUNCT DE VEDERE

asupra articolului „Introducerea sistemelor expert—aspecte generale", autori prof. dr. ing. Mircea Eremia, ing. Mihai Sănduleac

Lucrarea întocmită de prof. dr. ing. Mircea Eremia și ing. Mihai Sănduleac este deosebit de pertinentă și la obiect din punctul de vedere al introducerii principalelor idei care frămîntă în prezent specialiștii preocupați de noi tehnologii menite să îmbunătățească funcționarea complexelor tehnice folosite în procesele vieții moderne. Bineînțeles că astfel de tehnologii sînt menite să aducă în continuare economii umane, sociale și mai ales de cheltueli materiale.

Aplicațiile a ceea ce numim inteligență artificială au început de mult, de cînd tehnicile automatizării, ale protecției prin relee și chiar mecanismele simple la care era un minim necesar de inteligență elementară au început să fie folosite. După cum știm, în tehnologiile energeticii, inteligența artificială a trebuit să apară aproape de la începuturile aplicațiilor, încă de la sfîrșitul secolului trecut. Dar ceea ce am numit pînă acum inteligență artificială era un raționament foarte rudimentar, în general bazat pe o gîndire tautologică. Chiar computerizarea nu a adus elemente prea noi în ceea ce privește modificarea raționamentelor.

Conceptul de „sistem expert" încearcă să introducă o nouă tehnică a software-ului prin imitarea a ceea ce poate face un „expert uman" în plus. Acest ceva în plus se referă la experiență și la un anumit fler, activități ale creierului pe care le integrăm în ceea ce numim „euristică". A imita astfel de raționamente și procedee de gîndire cu ajutorul mașinilor și computerelor nu este un lucru ușor. De aceea cercetătorii au trecut la examinarea sistemului fiziologic al gîndirii umane. Ca rezultat a apărut teoria sistemelor neuronale. Dar problema cea mai grea a fost mecanizarea gîndirii pentru a o putea transfera sub formă de soft pe calculator.

Autorii au prezentat sub o formă interesantă principalele idei și baza lor teoretică. În cele ce urmează m-am gîndit că „o aducere a lor pe pămînt" printr-o exemplificare practică ar fi utilă pentru o discuție mai largă a posibilităților de aplicare. Literatura de specialitate prezintă o multitudine de aplicații în stadiu de experimentare și de cercetare.

Pentru a fixa ideile, un exemplu simplu ar fi edificator. Am ales cazul unui sistem expert aplicat pentru diagnosticarea defecțiunilor unui transformator de putere. Exemplul este luat din literatura de specialitate. După cum se știe, funcționarea corectă a marilor transformatoare este vitală în exploatare. De aceea s-au găsit și s-au instalat multe dispozitive pentru prevenirea avariilor și scoaterea acestora din funcțiune în cazuri extreme ca: relee

Buchholz, relee diferențiale etc. Aceste dispozitive răspund la situații deosebite, care necesită scoaterea imediată din funcțiune a transformatoarelor în exploatare și, în general aceasta se întîmplă după avarierea gravă a agregatelor. Existența unor metode pentru prevenirea avariilor și pentru detectarea din timp a defectelor incipiente ar avea avantaje economice deosebite. În acest scop, practica arată că analiza mixturii gazelor dizolvate în uleiul izolant al transformatoarelor de putere apare ca o metodă eficientă pentru detectarea defectelor incipiente și ca urmare, această metodă a căpătat o recunoaștere internațională. Mulți cercetători au examinat această problemă și există deja o serie de aplicații concludente. Metoda are și o denumire internațională Dissolved Gas Analysis (DGA). Metoda în sine are totuși un caracter euristic într-o oarecare măsură și bineînțeles se bazează și pe „flerul" expertului. De aceea, în acest caz sistemele expert ar avea o aplicație practică deosebită. Iată procedura aplicată la un caz experimental din Taivan. Baza semnificativă pentru sursa de date a fost analiza cantitativă și calitativă a amestecurilor de gaze din ulei. S-a folosit un procedeu de inferență bazat pe experiența diagnozelor medicale. Incertitudinile expertului uman au fost micșorate prin modele de tip fuzzy.

Diagnoza și interpretarea

După o experiență acumulată a specialiștilor japonezi, circa 80% din defectele transformatoarelor au o cauză incipientă în timp, care trebuie descoperită cît mai repede. Deteriorarea uleiului, degradarea altor materiale izolante (celuloza și altele) produc gaze. Cantitățile de gaze, rapoartele între diverșii compuși, dau indicații esențiale asupra începuturilor unor defecte. Analiza cromatografică a gazelor dizolvate în uleiul transformatorului a devenit o metodă de exploatare. De obicei interesează: hidrogenul, metanul (CH_2), etanul (C_2H_4) etilenul (C_2H_4) acetilena (C_2H_2) și monoxidul de carbon (CO). Criteriile necesare pentru stabilirea metodelor de interpretare au fost stabilite pe baza examinării a 291 transformatoare de mare putere. Unele din gazele indicate mai sus există și în starea normală a transformatoarelor. Pe baza măsurătorilor s-au făcut tabele matrice cu concluzii referitoare la funcționarea normală sau cu defecte a transformatoarelor. S-au făcut corelări între rezultatele analizelor și defectele posibile. Grupele principale de defecte sînt: supraîncălziri locale (piroliza), efecte Corona (descărcări parțiale), descărcări electrice (prin arc). Toate grupele de mai sus pot conduce în timp la defecte grave. De exemplu prezența unor cantități mari de acetilenă și hidrogen în raport cu metanul și etilenul poate fi un simptom de defect cu arc etc.

Baza sistemului expert

Baza de fapte reprezintă grupe de inferență de tipul:

dacă acetilena și hidrogenul au concentrație mare
și concentrația de etilenă este mai mare decît a etanului
atunci este sugerat defectul prin arc.

Se mai pot da și alte exemple.

Cele patru componente principale ale sistemului expert despre care autorii au vorbit sînt:

— memoria de lucru,
— baza de cunoștințe
— mașina de inferență
— interfața om — mașină.

Baza de cunoștințe cuprinde o colecție de expertize în domeniu, care se bazează pe fapte și pe raționamente de forma „dacă — atunci". Depozitul conține deci: metodele interpretative cunoscute (DGA), metode de expertiză sintetică, reguli euristice.

Mașina de inferență cuprinde complexul de raționamente în general deductive. Ea comandă: strategiile de raționament, precum și cercetarea și căutarea datelor și cunoștințelor potrivite. Strategiile de raționament folosesc atît căutările forward, cît și cele backward. De exemplu, regulile fuzzy, normele, regulile rapoartelor gazelor, unele reguli de întreținere și exploatare sînt implementate în operațiunile și căutările backward. Alte reguli, ca cele de întreținere (mentenanță), utilizează căutări forward.

Aplicarea metodelor fuzzy

O mulțime fuzzy (sau vagă) este o mulțime despre care nu știm prea multe lucruri exacte. De exemplu în cazul descris nu există o corelație precisă între starea transformatoarelor și analiza calitativă și cantitativă a gazelor cuprinse în ulei. Expertul uman trebuie să aibă abilitatea de a obține o eficiență în raționament chiar prin exploatarea imprecisului, a informațiilor incomplete și nesigure. Manipularea acestui „vag" este de o importanță covîrșitoare în programarea unor mașini cu inteligență artificială. De aceea s-a propus folosirea metodei fuzzy pentru gestionarea informațiilor incerte. Experții umani sînt eficienți în raționamentele calitative. Pentru a face ca un sistem expert artificial să „absoarbă" modelul uman trebuie depășită o dificultate, și anume : transformarea raționamentelor umane calitative în expresii numerice cantitative. Teoria mulțimilor fuzzy poate ușura această transformare. În cazul exemplificat apar trei incertitudini de diagnostic : cele referitoare la respectarea normelor de către fabricant, cele referitoare la corelarea rapoartelor de gaze și cele referitoare la analizele cantitative ale gazelor și corelarea lor cu diversele variante de defecțiuni. La mulțimile fuzzy se asociază funcții așa-zise „de apartenență" prin care se dau aprecieri calitative elementelor sau grupelor de elemente. Funcțiile de apartenență primesc valori între 1 și 0 și pot fi discrete sau continui (cu alură de funcții de distribuție folosite în calculul probabilității). Desigur, este o mare diferență între calculul probabilităților și calculul fuzzy, în special prin aceea că în primul caz datele se bazează pe o statistică anterioară, iar în cazul mulțimilor fuzzy, funcțiile de apartenență se bazează pe o apreciere euristică și pe flerul expertului.

Cazul descris nu este închis. Este important ca la stadiul de proiectare, problema să fie urmărită și din punct de vedere financiar, pentru că numai eficiența economică ar justifica „implementarea" extinsă a unor astfel de tehnologii care pot fi considerate „de vîrf".

dr. ing. EUGENIU PAVEL

Informații

Editura Tehnică ne semnalează următoarele apariții în cursul anului 1993:

Gean Charles Pomerol **Sisteme expert în întreprinderi, 150 pag., 50 figuri**

Lucrarea prezintă sistemele expert pentru întreprinderi legate de gestiune, decizie, analiză financiară și economică. Cartea are 12 capitole și poate fi împărțită în trei părți.

Capitolele 1—6 — prima parte — sau o definiție a sistemelor expert și descriu funcțiunile acestora. **Capitolele 6—4** au un caracter mai tehnic și se referă la realizarea sistemelor expert cu ajutorul sistemelor de producție și a modelelor logice. **Capitolul 5** tratează metodologia de modelare și formalizare a cunoștințelor conceptuale, orientate spre prelucrarea computerizată — cunoscută și sub denumirea de reprezentare a cunoștințelor. **Capitolele 7, 8, 9** — partea a doua — sînt consacrate prezentării diferitelor sisteme expert existente, a caracteristicilor și limitelor acestora. **Ultimele 3 capitole** — partea a treia — se referă la factorii care condiționează introducerea sistemelor expert în întreprinderi.

Cartea este adresată deopotrivă utilizatorilor de sisteme expert care pot fi conducători de întreprinderi, gestionari, ingineri sau diferiți factori de decizie care consideră că sistemele expert pot să le aducă un real folos în implinirea sarcinilor complexe. Totodată, pentru specialiștii experți dintr-un domeniu și care doresc să-și facă cunoștințe portabile sau mai utilizabile pentru a le putea transmite și altora, cel puțin parțial.

Cartea se adresează și specialiștilor din domeniul inteligenței artificiale și realizatorilor de sisteme expert, precum și studenților din învățămîntul superior.

Contribuții privind realizarea unor sisteme expert pentru operațiile de reconfigurare a rețelelor electrice de distribuție

Lucrarea prezintă cîteva contribuții ce vizează elaborarea unor programe sistem expert (SE) destinate asistării dispecerilor rețelelor electrice de distribuție (RED) în operațiile de reconfigurare a acestora. În acest context este prezentat modul de organizare și componența bazei de date propuse pentru aceste SE, modul de prezentare a elementelor RED. Utilizînd această bază de date este descris algoritmul de determinare a regimului staționar al rețelei și un program de reconfigurare pentru transferul planificat de sarcină de pe un circuit pe altul.

The paper presents a few contributions aiming at the drawing up of several expert system (SE) programs meant to assist the dispatchers of the electric distribution networks (RED) in their reconfiguration operations. The paper deals with the organization type and the data base component suggested for these SE, the way of representing the RED elements. By using this data base, the algorythm for the determination the network stationary regime and reconfiguration program for the load controlled transfer from one circuit to another, is described hereby.

Dr. ing. MIHAI MOGA, ing. LIVIU VARSANDAN*

Introducere

Progresele considerabile realizate în ultimii ani în domeniul tehnologiei microprocesoarelor, microcalculatoarelor și al telecomunicațiilor au oferit reale posibilități pentru conducerea și supravegherea sistemelor electrice și în mod special a rețelelor electrice de distribuție (RED) cu sisteme de conducere cu calculatoare de proces.

Conducerea operativă, prin dispecer, a RED de medie tensiune reprezintă un domeniu în care introducerea unor sisteme de conducere în regim de ghid-operator este nu numai necesară, dar și posibilă. Eficiența și utilitatea acestor sisteme de conducere în îmbunătățirea procesului decizional, implicat de coordonarea operativă a rețelelor electrice, este însă determinată în primul rînd de dotarea acestora cu pachete de programe (software) adecvate. Aceasta justifică preocupările intense ale specialiștilor din domeniu, din ultimul deceniu, pentru a elabora programe sisteme expert (SE) destinate să asiste dispecerii în luarea celor mai bune decizii. În domeniul RED o atenție deosebită este acordată problemelor de reconfigurare ale acestora [1, 2, 3]. În acest context se înscrie și actuala lucrare, vizînd realizarea unor pachete de programe pentru conducerea operativă a RED, cu accent pe operațiunile de reconfigurare a rețelei. Definind reconfigurarea rețelelor electrice ca o modificare a topologiei acestora, prin comutarea stării unor separatoare, programele SE aferente vizează operațiuni de transfer de sarcină de pe un circuit pe altul, de izolare a unor elemente sau zone de rețea, de refacere a schemei normale de funcționare în urma unei avarii, de îmbunătățire a regimului de funcționare prin reglajul de tensiune și putere reactivă etc.

Construirea unor baze de date adecvate, care să folosească atît specificul RED (rețele cu număr mare de componente și scheme de funcționare normală radial arborescente), cît și avantajele oferite de noile sisteme de operare și

* Universitatea Tehnică, Timișoara

medii de programare (MS – DOS și respectiv TURBO-PASCAL) pentru microcalculatoarele IBM–PC, de exemplu, constituie o problemă care determină în mod substanțial performanțele programelor aplicative.

Prezenta lucrare propune o bază de date, care utilizează avantajele menționate mai sus, ca un compromis între volumul de calcule (deci timp de prelucrare) și volumul de memorie necesar rulării unor programe de reconfigurare a RED complexe, cum ar fi cele urbane. În acest context, capitolul următor prezintă modul de reprezentare adoptat pentru componentele de rețea și pentru rețeaua electrică în ansamblu, capitolul 2 aduce precizări privind structura și modul de organizare a bazei de date propuse, iar următoarele două capitole conțin utilizări concrete ale acestei baze de date în cadrul unor programe executabile în timp real. Astfel, capitolul 3, prezintă un algoritm de determinare a mărimilor caracteristice regimului staționar de funcționare al rețelei, iar capitolul 4 prezintă un program de reconfigurare, ca urmare a unui transfer de sarcină de pe un circuit pe altul.

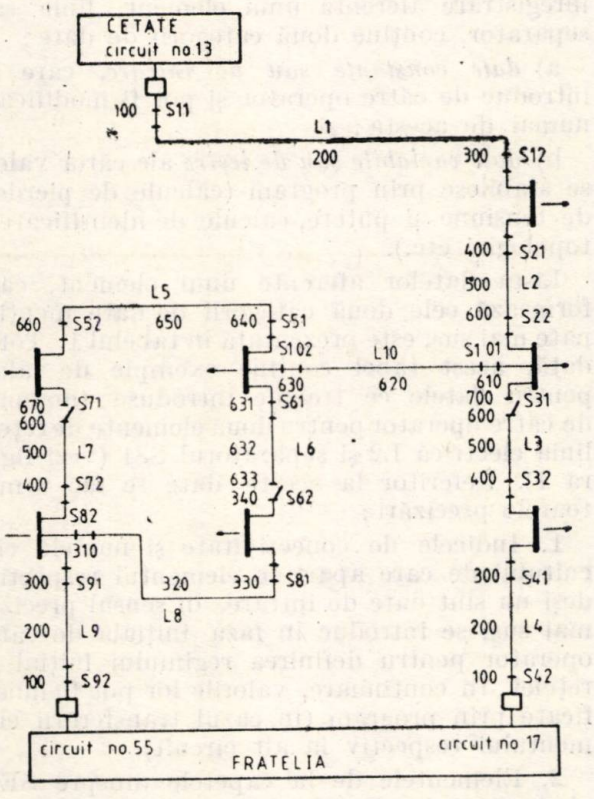


Fig. 1. Exemplu de rețea electrcă de distribuție.

Pentru evidențierea structurii și modului de organizare a bazei de date și exemplificarea aplicațiilor prezentate în continuare, în figura 1 se prezintă o rețea simplă prelevată din RED de 10 kV din municipiul Timișoara.

Referitor la terminologie, se precizează că s-au utilizat noțiunile de element și de circuit pentru a desemna fie o linie electrică, fie un separator și respectiv pentru a desemna o rețea radială arborescentă alimentată de pe barele unei stații electrice de distribuție (SED) printr-un întrerupător.

1. Reprezentarea elementelor rețelei de distribuție

Pentru a beneficia de facilitățile oferite de tehnica de calcul electronic în algoritmele de reconfigurare realizate s-au considerat în mod distinct doar două tipuri de elemente de rețea, și anume : linii electrice și separatoare. Celelalte elemente, cum ar fi : consumatorii complecși, reprezentați de posturile de transformare ale rețelei, bateriile de condensatoare statice etc., care trebuie considerate în calcule, au fost atașate uneia din cele două categorii de mai sus.

Pentru **liniile electrice**, în general, linii electrice subterane (avîndu-se în vedere rețele de m.t. urbane) s-a adoptat schema echivalentă cu element longitudinal concentrat, cu parametrii :

$$R = R_0 * l \; ; \; \text{și} \; X = X_0 * l, \qquad (1)$$

unde R_0 și X_0 sînt rezistența și, respectiv, reactanța unitară, iar l lungimea liniei. În afară de parametrii de mai sus, baza de date pentru fiecare linie electrică mai conține și curentul maxim admisibil de durată.

Separatoarele constituie elementele de comutație ale rețelei. În topologia rețelei electrice, acestea se consideră în același mod ca și liniile electrice (cu $R = 0$ și $X = 0$, în starea închis). Poziția separatoarelor se indică în mod explicit, așa cum se va vedea în exemplele ce urmează. Pentru fiecare separator se va preciza și curentul admisibil de durată.

Consumatorii considerați sînt consumatori echivalenți, reprezentați de plecările de pe barele posturilor de transformare (PT) din rețea. Pentru a reflecta cît mai corect comportarea acestora la modificările tensiunii de alimentare, aceștia sînt reprezentați prin caracteristici statice liniare de forma :

$$P = P_0 \; [1 + p * (U/U_0 - 1)]$$
$$Q = Q_0 \; [1 + q * (U/U_0 - 1)] \qquad (2)$$

considerate corecte pentru modificări relativ mici ale tensiunii U în jurul valorii nominale sau de referință U_0. Parametrii p, q ai carac-

teristicilor de putere funcţie de tensiune (2), denumiţi şi efecte de reglaj, reflectă sensibilitatea consumului de putere activă şi respectiv reactivă în raport cu modificările tensiunii. Definiţi conform relaţiilor :

$$p = \mathrm{d}P/\mathrm{d}U * U_n/P_n \qquad (3)$$

$$q = \mathrm{d}Q/\mathrm{d}U * U_n/Q_n$$

aceşti parametri au valori specifice pentru fiecare tip de consumator. Astfel, pentru consumatorii de tip putere constantă : $p = q = 0$; pentru cei de tip impedanţă constantă : $p = q = 2$ u.r ; etc. În realitate, fiecare consumator considerat în nodurile RED este un conglomerat de consumatori de diverse tipuri. Valorile efective ale parametrilor p, q pot fi estimate fie prin metode de asamblare (pe cale analitică), dacă se cunoaşte ponderea fiecărui tip de consumator în consumul total, fie prin metode experimentale, conform celor descrise în [4]. Valorile uzuale pentru consumatorii echivalenţi de pe barele de m.t. ale unor staţii electrice de distribuţie din Timişoara, determinate experimental [5], s-au înscris în domeniile (0 — 1,5) u.r. pentru p şi (1—3) u.r, pentru q, depinzînd de structura consumatorului echivalent considerat.

Aşa cum s-a precizat, consumatorii nu se reprezintă explicit. Parametrii lor (coeficienţii de reglaj p, q şi puterile absorbite în regimul nominal (de referinţă) P_n, Q_n cu care vor interveni în baza de date se vor ataşa separatoarelor prin care sînt alimentaţi.

Pentru a folosi avantajul structurii arborescente a reţelelor de distribuţie (în regim normal) s-a renunţat la modelarea reţelei electrice prin „clasica" matrice de admitanţă nodală, înlocuindu-se cu un sistem de indici de conectivitate ataşaţi fiecărui element de reţea [2]. Acest sistem de indici de conectivitate permite stabilirea poziţiei (legăturilor cu elementele vecine) fiecărui element, construirea şi modificarea fiecărei reţele radiale (arborescente) pe baza unui algoritm relativ simplu.

Atribuirea indicilor de conectivitate elementelor din reţea se efectuează în mod independent pentru fiecare circuit, conform exemplului prezentat pentru reţeaua din figura 1. Astfel, prima poziţie a indicelui indică poziţia elementului în raport cu calea considerată principală a circuitului. Deci elementele 1.0.0. ; 2.0.0. ; 3.0.0. ; ... , formează calea principală a circuitului. Următoarea poziţie a indicelui indică o ramificaţie faţă de calea principală. Numărul maxim de ramificaţii (gradul de ramificare) ale reţelelor radiale considerate determină numărul necesar al poziţiilor indicilor de conectivitate pentru a descrie complet structurile de arbore ale acestora. Fiecare element al reţelei (linie sau separator) se consideră că aparţine unui singur circuit (datorită structurii arborescente admise pentru circuite), cu excepţia separatoarelor deschise, care se consideră că aparţin la două circuite (cele pe care le separă) şi în consecinţă, acestora li se acordă doi indici de conectivitate, conform figurii 1.

2. Baza de date

Avînd în vedere, pe de o parte, volumul deosebit de mare de date cu care trebuie să opereze un program de reconfigurare şi, pe de altă parte, pretenţiile impuse vitezei de prelucrare a datelor de funcţionarea sa în timp real, concepţia bazei de date a urmărit să asigure accesul rapid la oricare element al reţelei şi să permită, totodată, modificarea facilă a structurii circuitelor acesteia. Astfel, datele aferente unui element de reţea (linie electrică sau separator) sînt incluse în cîte o înregistrare (record) ce formează un fişier de înregistrări (recorduri) păstrat pe discul magnetic. Fiecare înregistrare aferentă unui element, linie sau separator, conţine două categorii de date :

a) *date constante sau de intrare*, care se introduc de către operator şi pot fi modificate numai de acesta ; şi

b) *date variabile sau de ieşire* ale căror valori se stabilesc prin program (calcule de pierderi de tensiune şi putere, calcule de identificare a topologiei etc.).

Lista datelor aferente unui element, care formează cele două categorii de date menţionate mai sus, este prezentată în tabelul 1. Totodată, acest tabel conţine exemple de valori pentru datele ce trebuie introduse (manual) de către operator pentru două elemente de reţea, linia electrică L2 şi separatorul S81 (vezi figura 1). Referitor la aceste date se fac următoarele precizări :

1. Indicele de conectivitate şi numele circuitului de care aparţine elementul respectiv, deşi nu sînt date de intrare, în sensul precizat mai sus, se introduc în faza iniţială de către operator pentru definirea regimului iniţial al reţelei. În continuare, valorile lor pot fi modificate prin program (în cazul transferării elementului respectiv la alt circuit).

2. Elementele de la capetele dinspre SED ale fiecărui circuit, cele ale căror indici de conectivitate sînt de forma 1.0 . . .0, sînt tratate în mod deosebit din punctul de vedere al stabilirii datelor de intrare şi de ieşire. Astfel, la aceste elemente se consideră şi următoarele date : puterea activă şi reactivă transferată şi ampli-

Tabelul 1

Datele înregistrărilor elementelor de rețea

Tip	Denumire dată	Simbol	U.M.	Exemple	
Date de intrare	Numele elementului			L2	S81
	Puterea nominală la capătul elementului	P_n	[kW]	0	1803
		Q_n	[kvar]	0	1127
	Efectele de reglaj ale sarcinii	p	[u.r.]	—	0.8
		q	[u.r.]	—	2.5
	Impedanța liniei	R	[Ω]	194	0
	(Starea separatorului)	X	[Ω]	79	0
	Curentul nominal	I_{mx}	[A]	850	1250
Date de ieșire	Nume circuit			CETA13	FRA55
	Indice de conectivitate			5.0.0.	3.3.0.
	Rezervă minimă de curent: valoare și loc.	DI_m	[A]		
		Loc	Im		
	Putere activă și reactivă transferată	P_t	[kW]		
		Q_t	[kvar]		
	Amplitudinea tensiunii	U	[kV]		
	Puterea activă și reactivă consumată la capăt	P	[kW]		
		Q	[kvar]		

tudinea tensiunii ca mărimi de intrare, valorile lor fiind accesibile prin intermediul unor traductoare de putere și tensiune montate pe fiecare circuit în SED și deci cunoscute. Aceste valori vor fi păstrate constante de către program, ajustîndu-se în schimb puterile consumate în diferite noduri ale circuitului, astfel încît puterile transferate pe circuit să fie identice cu cele introduse pentru elementele de la început.

3. Starea separatorului se precizează prin valoarea impedanței atașate. Astfel, pentru starea închis $R = 0$, și $X = 0$. În cazul în care separatorul se află în stare deschis, rezultă că va avea doi indici de conectivitate, cîte unul pentru fiecare din circuitele pe care le separă. Locațiile rezervate pentru R și X în acest caz sînt folosite pentru înscrierea celui de-al doilea indice și a numelui circuitului corespunzător.

4. Consumatorii echivalenți din nodurile circuitului, așa cum s-a precizat anterior, se atașează cîte unui separator, și anume separatorului închis, situat în amonte (spre SED). În consecință, deschiderea unui separator, sau schimbarea SED de alimentare va determina transferarea puterilor consumatorului atașat la separatorul vecin (dacă este închis și este în amonte).

5. Rezerva de curent este definită ca diferența dintre curentul nominal (admisibil de durată) și curentul efectiv prin element. Rezerva minimă de curent a unui element este tocmai rezerva de curent a elementului din același circuit situat în amonte, care are cea mai mică rezervă de curent.

Pe baza datelor conținute în fișierul de înregistrări de elemente, linii și separatoare, la lansarea programului se construiește pentru fiecare circuit cîte un fișier, conform exemplelor din tabelul 2, ce conține numele elementelor de rețea care aparțin circuitului respectiv la un

Tabelul 2

Fișierele circuitelor din figura 1

Nume circuit (fișier):	CETA13	FRAT17	FRAT55
Lista de elemente	S11 i	S42 i	S92 i
	L1	L4	L9
	S12 i	S41 i	S91 i
	S21 i	S32 i	S82 i
	L2	L3	L8
	S22 i	S31 o	S81 i
	S101 i		S62 d
	L10		S72 i
	S102 i		L7
	S61 i		S71 d
	S6		
	L62 d		
	S51 i		
	L5		
	S52 i		
	S71 d		
	S31 d		

i — închis
d — deschis

moment dat, ordonate conform poziției lor în circuit. Construcția fișierelor circuitelor, etichetate cu numele circuitului (inițialele stației și numărul circuitului de exemplu CETA13 — pentru circuitul nr. 13 din SED CETATE) se realizează astfel:

a) se identifică din fișierul de elemente toate elementele care aparțin unui circuit și se reține într-un tablou temporar numele acestora, indicii de conectivitate și starea (*i* — închis sau *d* — deschis, în cazul separatoarelor);

b) pornind de la separatoarele deschise se identifică, pe baza indicilor de conectivitate, elementele din amontele fiecăruia, astfel încît în final se obţine lista ordonată a acestora în cadrul circuitului, conform structurii sale arborescente.

Fişierele circuitelor oferă informaţii despre topologia reţelei de distribuţie, permiţînd întocmirea imediată a schemelor monofilare ale fiecărui circuit. Orice acţiune de reconfigurare va avea ca efect modificarea conţinutului fişierelor circuitelor implicate. Desigur, în acest caz se vor modifica şi indicii de conectivitate şi numele circuitelor din înregistrările corespunzătoare elementelor afectate, din fişierul de elemente.

3. Determinarea regimului staţionar al reţelei

După încheierea fazei de construire a bazei de date, conform celor discutate în capitolul precedent, fişierul de elemente conţine datele nominale (de catalog) ale ficărui element şi informaţiile necesare stabilirii topologiei iniţiale a reţelei. Fişierele circuitelor conţin listele cu numele elementelor componente, ordonate conform structurii circuitului în faza iniţială. Următoarea etapă o constituie actualizarea datelor de ieşire (tabelul 1) din înregistrările fiecărui element. În consecinţă, se impune efectuarea calculului circulaţiei de puteri în reţeaua considerată, pentru determinarea regimului staţionar actual.

Deşi reţelele de distribuţie sînt în general reţele complex buclate, totuşi, funcţionarea normală a acestora se realizează cu scheme radiale. Avînd în vedere acest aspect s-a adoptat un algoritm de calcul al circulaţiei de puteri pe circuitele reţelei ce utilizează avantajele oferite de această structură. Acest algoritm constă în parcurgerea circuitului de la întrerupătorul din SED pînă la fiecare element terminal (separator deschis), denumită parcurgere directă, calculîndu-se pe fiecare element terminal (separator deschis), denumită parcurgere directă, calculîndu-se pe fiecare element pierderile de tensiune şi putere.

Pentru parcurgerea ordonată a unui circuit cu mai multe niveluri de ramificaţii se urmăreşte strict lista de elemente a circuitului, tabelul 2, iar prezenţa unui „1" în indicele de conectivitate marchează primul element dintr-o ramificaţie, fiecare nivel de ramificaţie fiind tratat ca o nouă reţea radială. Tensiunile elementelor din care pornesc una sau mai multe ramificaţii, se stabilesc, la parcurgerea în sens invers, ca valori medii ponderate ale tensiunilor obţinute pe elementele de bază ale fiecărei ramificaţii. Coeficienţii de ponderare sînt tocmai puterile care circulă pe ramificaţia respectivă.

Etapele parcurse pentru determinarea regimului staţionar al reţelei pot fi sintetizate astfel:

— se stabilesc valorile puterilor absorbite de fiecare consumator din circuit în funcţie de puterea sa nominală şi încărcarea circuitului în momentul respectiv, $P_{t_1} + jQ_{t_1}$ considerată cunoscută (şi egală cu puterea transferată pe elementul sau cu indicele de conectivitate 1.0. . . . .0, avînd numărul de ordine 1 în lista de elemente a circuitului) conform relaţiilor:

$$P_i = P_{n_i} * P_{t_1} / \sum_j P_{n_j}\,;\; Q_i = Q_{n_i} * Q_{t_1} / \sum_j Q_{n_j} \quad (4)$$

unde $i, j = 1 \ldots$ numărul maxim de elemente din lista circuitului;

2-considerînd cunoscută tensiunea pe bara SED se calculează tensiunile şi puterile pe fiecare element la parcurgerea directă a circuitului. Avînd în vedere lungimile relativ reduse ale liniilor electrice din circuit, relaţiile de calcul folosite sînt:

$$U_{k+1} = U_k - (P_{t_k} * R_k + Q_{t_k} * X_k)/U_k \quad (5)$$

$$P_{t_{k+1}} = P_{t_k} - P_{t_k} - DP_k\,;\; Q_{t_{k+1}} =$$

$$= Q_{t_k} - Q_{ck} - DQ_k$$

unde $k = 1 \ldots$ numărul de elemente ale unei căi sau ramificaţii din circuit, iar P_{ck} şi Q_{ck} reprezintă sumele puterilor consumate de elementul respectiv şi a celor transferate pe ramificaţiile convergente în element (dacă există). DP_k şi DQ_k sînt pierderile de putere pe elementul k;

3 — se parcurg în sens invers elementele tuturor căilor circuitului, ajustîndu-se puterile consumate conform caracteristicilor consumatorilor. Relaţiile utilizate în acest caz sînt de forma:

$$U_{k-1} = U_k + (P_{t_k} * R_k + Q_{t_k} * X_k)/U_k \quad (6)$$

$$P_{t_{k-1}} = P_{t_k} + P_{ck} + DP_k\,;\; Q_{t_{k-1}} =$$

$$= Q_{t_k} + Q_{ck} + DQ_k$$

unde k este numărul de elemente/cale . . . 1, iar celelalte notaţii au semnificaţiile precizate mai sus;

4 — etapele 2 şi 3 constituie o iteraţie. Se testează condiţia de convergenţă a soluţiei. În cazul în care nu se verifică se reia punctul 2 pînă la verificare.

Tabelul 3

Datele calculate (de ieşire) ale elementelor L2 şi S81

Tip	Denumire dată	Simbol	U.M.	L2	S81
Date de ieşire	Nume circuit			CETA13	FRA55
	Indici de conectivitate			500	330
	Rezervă minimă de curent:	DI_m	[A]	235	123
	valoare şi loc.	Loc	Im	Li	L8
	Puterea activă şi reactivă transferată	P_t	[kW]	4244.3	3654.4
		Q_t	[kvar]	2432.1	2053.1
	Amplitudinea tensiunii	U	[kV]	10.48	10.32
	Puterea activă şi reactivă consumată la capăt	P	[kW]	0	1794
		Q	[kvar]	0	1034.6

Această procedură se repetă pentru fiecare circuit, iar rezultatele obţinute se înscriu în înregistrările fiecărui element ca date de ieşire, conform exemplului din tabelul 3 pentru elementele L2 şi S81. Indicii de conectivitate şi numele circuitului de la fiecare element rămîn neafectaţi de procedura de calcul al circulaţiei de puteri.

Calculul regimului staţionar în vederea actualizării valorilor mărimilor caracteristice elementelor, se efectuează periodic sau atunci cînd se constată o modificare sensibilă a puterii transferate pe anumite circuite. Acelaşi algoritm se aplică şi pentru reactualizarea bazei de date în urma efectuării unei operaţii de reconfigurare, aşa cum se va vedea în capitolul următor.

4. Transferul de sarcină

Cea mai simplă operaţie de reconfigurare în cadrul reţelelor de distribuţie o constituie transferul unor anumiţi consumatori de pe un circuit pe altul prin închiderea şi deschiderea unor separatoare. În această situaţie, operatorul trebuie să răspundă la cîteva întrebări privind transferul, cum ar fi : a) liniile circuitului care preiau noii consumatori se vor supraîncărca în urma transferului ? ; b) profilul tensiunii în lungul circuitului este acceptabil ? ; c) transferul afectează sau nu reglajele existente ale protecţiilor etc. Acestor întrebări operatorul trebuie să le răspundă în timp real, înainte de a executa operaţiile pe care le implică transferul. Aspectele prezentate mai sus evidenţiază utilitatea, dar şi posibilitatea asistării operatorului de către un sistem expert adecvat.

În afara transferului de sarcină de pe un circuit pe altul, în care se precizează separatoarele ce se comută, denumit în continuare transfer planificat de sarcină, sistemul expert pentru reconfigurarea reţelelor de distribuţie trebuie să fie capabil să asiste operatorii şi în rezolvarea a încă unei situaţii uzuale în dispecerizarea reţelelor electrice, şi anume : izolarea unui element de reţea, cînd în afară de întrebările menţionate mai sus, se mai pun două întrebări (esenţiale) : a) care este varianta de reconfigurare optimă dintre cele fizic posibile ? ; b) care este succesiunea de comutare a separatoarelor ? Probleme de izolare de elemente pot fi ridicate fie de producerea unor avarii (scurtcircuite) pe un anumit element, fie în cazul unor operaţii planificate de izolare a unui element sau zone de reţea. În ambele cazuri, algoritmul de soluţionare a acestei probleme conţine aceleaşi etape şi trebuie să răspundă la aceleaşi întrebări.

Transferul planificat de sarcină

Transferul planificat de sarcină presupune că operatorul precizează separatoarele ce se vor comuta (închide şi deschide), şi deci se pot identifica imediat circuitele care vor fi analizate.

În prima etapă programul determină sarcina ce urmează a fi transferată şi curentul $I+$, prin separatorul care se deschide. Efectuează o primă verificare a posibilităţii transferului, prin compararea curentului $I+$, prin separatorul ce se deschide, determinat anterior, cu rezerva de curent minimă DI_m a separatorului ce se va închide. Dacă $DI_m < I+$ se transmite un mesaj ce indică imposibilitatea transferului propus. În cazul în care transferul este posibil din punctul de vedere al rezervei de curent pe noua cale de alimentare, se lansează procedura de simulare a transferului. Această procedură constă în refacerea listelor de elemente ale celor două circuite afectate şi modificarea indicilor de conectivitate ai elementelor transferate.

În a doua etapă de verificare a transferului, se compară tensiunile pe elementele circuitelor cu valorile limită admisibile. În

acest scop se efectuează calculul circulației de puteri conform algoritmului descris în capitolul precedent.

Se informează operatorul despre rezultatele acestei etape de verificare. În cazul în care operatorul acceptă transferul, se actualizează baza de date a rețelei, în sensul modificării fișierelor circuitelor concurente și a înregistrărilor elementelor ce aparțin celor două circuite, reactualizîndu-se, practic, datele de ieșire ale acestora, baza de date rămînînd pregătită pentru efectuarea unui nou transfer de sarcină.

Pentru exemplificare prezentăm în continuare rezultatele afișate de program la transferul de sarcină produs prin deschiderea separatorului S102 și închiderea separatorului S62 (figura 1). Efectul acestor manevre fiind un transfer de 2340.4 kW și 978.5 kvar de pe circuitul numărul 13 din stația CETATE (circuitul CETA 13) pe circuitul numărul 55 din stația FRATELIA (circuitul FRA55). Rularea procedurii de transfer planificat pentru acest caz a indicat depășirea rezervei de curent DI_m a separatorului S62 (identică cu cea a lui S81, adică 123 A, tabelul 2), elementul de strangulare fiind linia L8. Transferul este în schimb posibil, dacă operația se efectuează prin deschiderea lui S102 și închiderea lui S71. În urma efectuării acestui transfer se modifică, pe de o parte, listele de elemente ale circuitelor CETA13 și FRA55, conform tabelului 4, și pe de altă parte indicii de conectivitate ai unor elemente ce le aparțin. Indicii de conectivitate care s-au modificat în urma acestei reconfigurări sînt prezentați în tabelul 4. Ceilalți au rămas nemodificați, avînd și după transfer valorile indicate în figura 1.

Tabelul 4

Configurațiile circuitelor CETA13 și FRA55 după transfer

Circuitul :	CETA13	FRA55	
Liste de elemente	S11 i	S92 i	
	L1	L9	
	S12 i	S91 i	
	S21 i	S82 i	
	L2	L8	
	S22 i	S81 i	
	S101 i	S62 d	
	L10	S72 i	
	S102 d	L7	
	S31 d	S71 i	(6.0.0.)
		S52 i	(7.0.0.)
		L5	(8.0.0.)
		S51 i	(9.0.0.)
		S102 d	(9.1.0.)
		S61 i	(10.0.0.)
i — închis		L6	(11.0.0.)
d — deschis		S62 d	(12.0.0.)

Concluzii

Organizarea bazei de date pentru un sistem expert destinat conducerii în regim de ghid operator a rețelelor electrice de distribuție constituie o problemă esențială și deloc simplă. Caracteristicile sale afectează în mod direct performanțele sistemului expert, sistem ce trebuie să realizeze în timp real analize cît mai realiste pentru a oferi, în final, operatorilor soluții de încredere. Baza de date propusă în actuala lucrare s-a dovedit adecvată pentru programe ce au în vedere operații de reconfigurare, asigurînd timpi de acces reduși la orice dată, posibilități facile de identificare și modificare a acestora și totodată posibilități de extindere. Aceste facilități au fost testate în cadrul unor programe SE, rulate deocamdată în regim off-line, vizînd reconfigurarea unor RED relativ simple.

BIBLIOGRAFIE

[1] Civanlar, S., Grainger, J. J., Lee, S. H. *Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction.* In: IEEE Trans. on PD, July, 1988 p. 1217-1223.

[2] Patton, J. B., Rizy, D. T., Lawer, J. S. *Applications Software for modeling Distribution Automation. Operations on the Athens utilities Board.* In: IEEE Trans on PD, nr. 2, april, 1990, p. 1019—1025.

[3] Wagner, T. P., Chikhanl, A. Y., Hacken, R. *Feeder Reconfiguration for Loss Reduction.* In: IEEE Trans. on PD, nr. 4, October, 1991, p. 1922—1931.

[4] Moga, M., Buta, A., Ivașcu, C., Milea, L. *Determinarea experimentală a caracteristicilor statistice de putere funcție de tensiune ale consumatorilor complecși.* In: Energetica nr. 5, Mai, 1987, p. 200—203.

[5] Moga, M., Ivașcu, C. *Estimarea expresiei caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune ale consumatorilor complecși pe baza determinărilor experimentale.* SNRE Timișoara 1984, vol. I, p. 90—96.

(Primit la 4 februarie 1993, acceptat la 2 aprilie 1993)

Aplicații ale sistemelor expert în energetică

Sistem expert pentru diagnoza condensatorului grupului DSL-50

În lucrare se prezintă un sistem expert pentru diagnoza instalației de condensare a grupului de 50 MW. Produsul software realizat poate fi rulat pe un calculator compatibil IBM-PC. Sistemul expert compară datele din proces, furnizate de interfața de proces, cu cele nominale sau de referință, care ar fi trebuit în mod normal să fie în instalație, și emite un diagnostic în cazul în care între cele două seturi de mărimi există neconcordanțe.

The paper deals with an expert system for the diagnose of the 50 MW unit condenser system. The software product achieved, can be run on an IBM-PC compatible computer.
The expert system compares the process data supplied by the process interface to the rated or reference ones, that normally should have been in the system and it produces a diagnosis if there are misfits between the two sets of values.

Conf. dr. ing. VIRGIL MUȘATESCU, as. ing. MIHAIL POPESCU, conf. dr. ing. ILIE PRISECARU*

Descriptori: sistem expert (SE), probabilitatea de deducție, prolog

1. Structura unui sistem expert de diagnoză on -line

Structura unui sistem expert de diagnoză se poate urmări în figura 1.

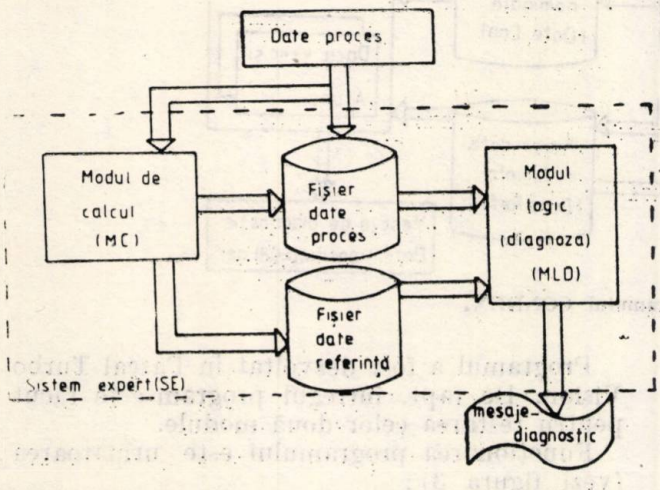


Fig. 1. Structura unui sistem expert de diagnoză a condensatorului.

Interfața de proces (și programele asociate) furnizează un fișier date proces (FDP).

În FDP modulul de calcul (MC) mai intervine cu unele mărimi pe care le calculează fie din lipsa traductoarelor adecvate (cum ar fi debit apă răcire condensator), fie datorită complexității fenomenului (coeficient global real de transfer de căldură).

Tot MC calculează pe baza unor modele matematice valoarea de referință a mărimilor din proces mai semnificative (cum ar fi presiunea de condensare, temperatura de condensare, coeficientul global de transfer al căldurii). Aceste date sînt depuse în fișierul de date de referință (FDR). Cînd nu poate calcula o valoare de referință, MC pune în FDR valoarea nominală a mărimii respective.

Prin compararea FDP cu FDR pe baza unui set de reguli, care conțin în esență experiența de exploatare, modulul logic de diagnoză (MLD) emite o părere cu privire la cauza abaterilor mărimilor din proces de la valorile de referință.

Aceste module pot face parte mai departe dintr-un sistem expert de diagnoză a centralei atașat, practic, la sistemul de achiziție date și protocolare (de urmărire), indiferent dacă acesta va fi on/off line.

* Universitatea Politehnică, București

O arhitectură posibilă a unui astfel de sistem expert este prezentată în figura 2.

Concepţia modulară face posibilă dezvoltarea SE de către experţi diferiţi. Se ridică în plus problema unui selector de module (SM), care

componente ale unui sistem expert de diagnoză a condensatorului DSL-50, şi anume MC şi MLD.

Structura CONDEX poate fi urmărită în figura 3.

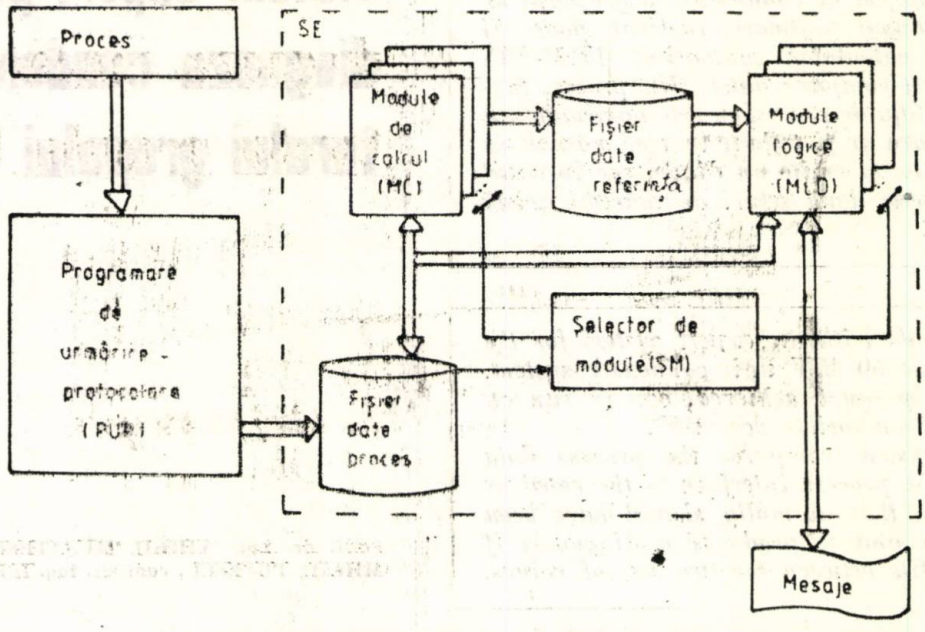


Fig. 2. Structura unui sistem expert de diagnoză a centralei.

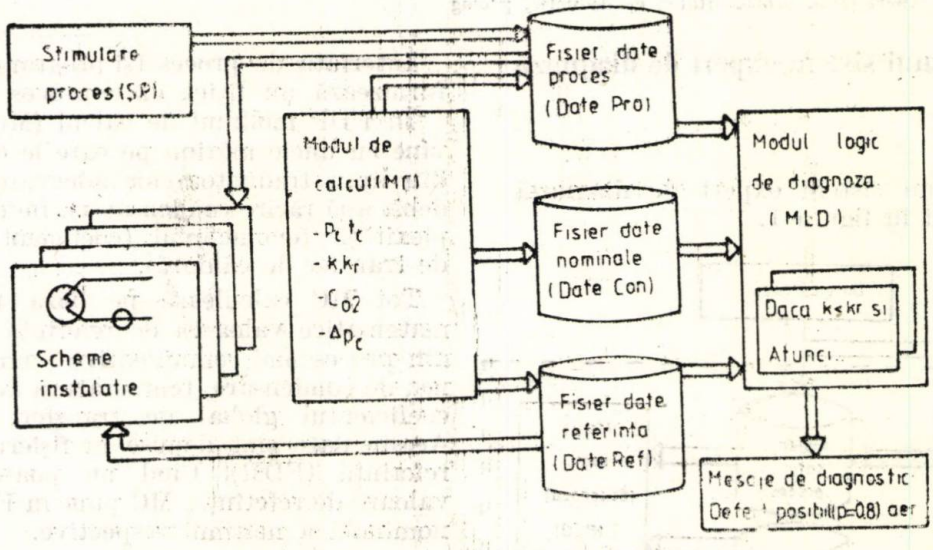


Fig. 3. Structura programului CONDEX.

să selecteze MC şi MLD corespunzător locului din centrală unde s-a produs defecţiunea. Acesta este, de obicei, un modul logic (MLD), ce se suprapune peste MLD existente.

2. Descrierea programului CONDEX

CONDEX este un mediu integrat de programe utilizat pentru testarea a două module

Programul a fost dezvoltat în Pascal Turbo Vision. De fapt, întregul program este făcut pentru testarea celor două module.

Funcţionarea programului este următoarea (vezi figura 3):

— cu ajutorul modulului de simulare a procesului (SP) se generează un set de date din proces ce se scriu în FDP. Actualul SP nu cuprinde decît trei seturi de date luate de pe schemele

garantate prin proiectul grupului de 50 MW. Ideal ar fi ca în acest modul să fie „ascuns" simulatorul condensatorului. La simularea unui defect prin SP, se testează dacă MLD dă răspunsul corect („ghicește" defectul). Această simulare ar putea fi suplinită cu un set de date de avarie din procesul real. Acestea sînt greu de adunat avînd în vedere că defectele de condensator sînt rare și că sînt relativ rapid înlăturate. În același timp nu există un sistem automat care să furnizeze o „istorie a datelor" pe o perioadă de timp anterioară defectului.

Menționăm că aceste lucruri sînt esențiale pentru o testare fiabilă a ambelor module MC și MLD. Implementarea hazardată ar putea lăsa loc la diagnoze „fanteziste", ceea ce ar slăbi încrederea operatorilor centralei în sugestiile sistemului expert;

— schemele trebuie să prezinte sugestiv grafic situația din proces, precum și cît ar trebui să fie anumite mărimi (valori luate din FDR). S-au inclus mai multe scheme: una generală și alte trei pentru condensatorul propriu-zis, instalații de vid și circuitul de apă de răcire;

— fișierul de date constructive FDC cuprinde date specifice pentru fiecare mașină. Actualmente, datele sînt furnizate de cartea tehnică a turbinei;

— fișierul de date de proces cuprinde pe lîngă datele furnizate de SP (cele care se măsoară real în proces) și datele reale calculate de MC care nu sînt măsurate. Implementarea de traductoare corespunzătoare (de exemplu pentru debitul de răcire) ar spori precizia diagnosticului;

— modulul de calcul MC cuprinde patru submodule pentru calculul a cinci parametri:

— p_c, t_c: presiunea și temperatura la condensare;
— k: coeficient global de transfer de căldură;
— CO_2: conținut de O_2 în condensat;
— Δp_c: cădere de presiune pe condensator.

— fișierul de date de referință cuprinde pe lîngă datele din paragraful precedent și valorile nominale ale unor parametri pentru care nu există un model de generare a unor valori de referință. În acest caz, MLD va compara valoarea actuală a parametrilor (luată din FDP) cu valoarea sa nominală (luată practic din FDC);

— modulul logic de diagnoză MLE cuprinde un set de reguli de tipul:

Dacă: condiția 1
condiția 2,
Atunci: concluzie cu probabilitatea p.

Modulul va furniza din comparația FDR cu FDP mesaje de posibile defecțiuni în sistemul de condensare.

3. Descrierea modulului MC

Acest modul este construit din mai multe submodule (4):

a. Calculul presiunii și temperaturii de condensare. S-au folosit mai multe metode de calcul pentru a determina valoarea de referință a presiunii de condensare.

Conform datelor de test disponibile, s-a decis folosirea modulului bazat pe metoda HEI, avînd în vedere și gradul mai înalt de încredere al sursei. Deficiența acestei metode este că nu ia în considerație variația p_c cu încărcarea condensatorului (adică cu D_c). De aceea, metoda a fost completată cu o corelație funcție de D_c dedusă din regimurile garantate pentru VPT-50-1.

Alte relații folosite pentru p_c:

— o corelație dedusă din diagrama condensatorului furnizată de fabricant. Relația este folosită în cazul folosirii datelor incomplete;

— o corelație dedusă din tabelele la saturație ce furnizează, reversibil, presiunea de condensare funcție de temperatura de condensare. Relația este folosită pentru verificarea traductoarelor de presiune.

b. Calculul coeficientului global de transfer al căldurii (k). Calculul se face atît pentru k de referință (cu metoda HEI), cît și pentru cel nominal (din bilanțul termic pe condensator).

c. Calculul pierderii de presiune pe condensator. Calculul Δp_c se face indirect, scăzînd din căderea de presiune între cele două colectoare intrare/ieșire, pierderile de presiune din afara condensatorului de pe acest traseu.

d. Calculul conținutului de oxigen. Se face după o diagramă dată de Bunchin [1].

4. Probabilitatea în deducție

Se presupune că o instalație poate realiza o serie de defecte d_i, $i \in [1, n]$ avînd o serie s_j, $j \in [1, n]$ de simptome asociate defectelor.

Dacă, pentru început, presupunem că un defect d are asociat un singur simptom s, probabilitatea ca fiind dat simptomul s să deducem că există defectul d este:

$$P(d/s) = \frac{P(d) * P(s/d)}{P(s)}, \qquad (1)$$

unde $P(d)$ este probabilitatea să apară defectul d la instalația dată;
$P(s)$ — probabilitatea să apară simptomul s la instalația dată;

$P(s/d)$ — probabilitatea să apară simptomul s în defectul d.

Pentru mai multe simptome asociate unui defect, relaţia (1) de mai sus devine :

$$P(d/(Si \wedge Sj)) = P(d) \wedge P((Si \wedge Sj)/d)$$
$$P(Si \wedge Sj) \qquad (2)$$

unde semnificaţiile sînt analoage celor de mai sus.

În acest moment se impune ipoteza că simptomele sînt independente una de cealaltă. Sigur, în realitate nu este chiar aşa.

De exemplu, creşterea încălzirii apei de răcire în condensator şi scăderea debitului apei de răcire în cazul depunerii de săruri sînt dependente. În scrierea regulilor însă s-au luat doar condiţii independente pentru ca ipoteza făcută să fie valabilă, efectele suprapunîndu-se. În acest caz :

$$P(Si \wedge Sj) = P(Si) \wedge P(Sj) \qquad (3)$$

Relaţia (2) devine :

$$P(d/(Si \wedge Sj)) = P(d) * \frac{P(Si/d)}{P(Si)} * \frac{P(Sj/d)}{P(Sj)} \qquad (4)$$

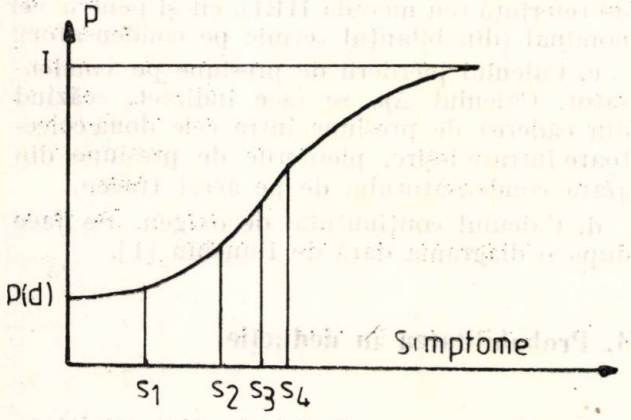


Fig. 4. Evoluţia $P(d)$ cu numărul de simptome.

Relaţia (4) ne arată cum evoluează probabilitatea unui defect la găsirea unui nou simptom. Ea va creşte cu raportul $P(Sj/d)/P(Sj)$, adică cu probabilitatea simptomului în defectul d asupra probabilităţii în general de apariţie a simptomului. Probabilitatea defectului va „evolua" astfel de la $P(d)$ la ≈ 1 (vezi figura 4). O utilizare riguroasă a relaţiei 4 necesită cunoaşterea unor serii de date de fiabilitate pentru instalaţia studiată.

În lucrarea de faţă probabilităţile sînt atribuite intuitiv pe baza următoarelor principii :

1 — $\Sigma (p_{di}) = 1$ unde di, $i \in (1, n)$ sînt defectele considerate (posibile) în lucrare, în sensul că dacă parametrii se abat de la valorile de referinţă, ceva trebuie să se fi stricat ;

2 — pe măsură ce se adaugă simptome, lista defectelor posibile scade. Se păstrează şi în acest caz principiul 1 : suma probabilităţilor defectelor rămase pe listă este 1 ;

3 — ponderea probabilităţilor defectelor pe listă ţine cont, intuitiv, de părerile exprimate de specialiştii din exploatare [1] asupra frecvenţei de apariţie a defectelor, precum şi de părerile autorului. Ele pot fi însă modificate odată cu acumularea de experienţă ;

4 — dacă un set de defecte determină unic un defect, lui i i se atribuie probabilitatea 1 ;

5 — ca defect propus va fi defectul cu probabilitatea de apariţie ataşată maxim. Se mai poate implementa şi ideea de a fi afişate toate defectele cu probabilităţile mai mari decît un prag dat ;

6 — se consideră că nu pot exista două defecte simultane. Lucrul este în general adevărat. Un caz aparte îl reprezintă depunerile de săruri care pot coexista cu orice defect. Aceasta se tratează în mod aparte.

5. Descrierea modulului MLD

MLD cuprinde în esenţă o serie de reguli extrase din experienţa de exploatare [1].

O regulă compară valoarea unui parametru din proces cu valoarea sa de referinţă şi emite o presupunere asupra abaterii parametrului de la valoarea sa nominală.

Mesajul emis constă în semnalarea unui defect posibil, precum şi a probabilităţii asociată acestuia.

Implementarea acestor reguli se face utilizînd două limbaje : Pascal şi Prolog. Autorii intenţionează să realizeze apoi un studiu comparativ de eficienţă a implementării şi de posibilitate de extindere a soluţiei alese pentru diagnoza întregii centrale.

Regulile sînt de tipul :

DACĂ : Condiţia 1, Condiţia 2, . . .,

ATUNCI : Concluzie cu probabilitatea p

Condiţiile sînt date de comparaţii între valoarea parametrilor din proces cu parametrii de referinţe, de exemplu : $p_c > p_{c,r}$

Exemple de reguli folosite :

1) Dacă $p_c < p_{c,r}$
atunci : Mesaj „Opriţi o pompă de circulaţie"

2) Dacă $p_c > p_{c,r}$
atunci : „Depuneri în condensator"
cu : $p = 0{,}33$;
„Aer în condensator"
cu : p = 0,25 ;

„Defect la pompa de circulaţie"
cu : $p = 0{,}15$;
„Defect la pompa de condensat"
cu : $p = 0{,}15$;
„Defect la sistem de reglare nivel condensat"
cu : $p = 0{,}17$;
„Spargeri de ţevi în condensator"
cu : $p = 0{,}55$.

3) Dacă $(p_c > p_{c.r})$ şi

$((\varphi_c < \varphi_{c,n})$ sau $(t_c - t_{R2}) > (t_{c.n} - t_{R2.n}))$,

atunci : „Depuneri în condensator"
cu : $p = 0{,}4$;
„Aer în condensator"
cu : $p = 0{,}3$;
„Defect pompa condensat"
cu : $p = 0{,}2$;
„Defect sistem de reglare nivel condensat"
cu : $p = 0{,}1$.

Conform notaţiilor uzuale, φ este coeficientul de murdărire al ţevilor condensatorului.

4) Dacă $p_c > p_{c.r}$ şi
$h_c > h_{c,n}$
atunci : „Defect la pompă de condensat"
cu : $p = 0{,}5$;
„Defect sistem reglare nivel condensat"
cu : $p = 0{,}4$;
„Spargere ţevi condensator"
cu : $p = 0{,}1$.

5) Dacă $h_c > h_{c.n}$ şi $\gamma_c > \gamma_{c,n}$
atunci : „Spargere sau neetanşeităţi ţevi condensator"
cu : $p = 1$,

(unde γ_c este conductivitatea electrică a condensatului).

Mesajele emise sînt de tipul „Defect cu probabilitatea p" unde „defect" înseamnă :
D 1. — „Opriţi o pompă de circulaţie" ;
D 2. — „Defect pompă condensat" ;
D 3. — „Defect pompă de circulaţie" ;
D 4. — „Spargere ţevi condensator" ;
D 5. — „Defect sistem de reglare condensat" ;
D 6. — „Depuneri pe partea de abur a ţevilor în condensator" ;
D 7. — „Depuneri de săruri în ţevi condensator" ;
D 8. — „Depuneri organice în ţevi condensator" ;
D 9. — „Înfundare ţevi condensator/placă tubulară cu obiecte" ;
D 10. — „Defectate labirinţi turbină" ;
D 11. — „Defectare RAL — regulator abur labirinţi" ;
D 12. — „Traductor de p_c defect" ;
D 13. — „Traductor de t_c defect" ;
D 14. — „Înfundare ajutaje ejector cu săruri" ;
D 15. — „Înfundare ajutaje ejector cu obiecte" ;
D 16. — „Murdărire răcitor abur ejectori, REJ".

Concluzii

O problemă deosebit de dificilă este testarea programului. Testarea nu se poate face nici on-line, din cauza lipsei unui sistem de achiziţie de date, dar nici off-line, din cauza lipsei unor date amănunţite de istorie a avariilor (practic, tot datorită lipsei unui sistem de achiziţie de date on-line). Menţionăm că această dificultate este specifică diagnozei unui sistem complex cu o mulţime de parametrii observabili, cum este un grup energetic. Lipsa de date de testare are implicaţii majore asupra punerii la punct a SE, avînd în vedere procedura iterativă de scriere a bazei de reguli din MLD (scriere-testare-corectare-testare . . .)

În plus, în sistemul condensatorului defectele sînt relativ rare şi au constanta de timp mare, aşa încît o urmărire la faţa locului este inoperantă.

O altă problemă întîlnită a fost lipsa unei bibliografii de experienţă de exploatare. Menţionăm că EPRI—SUA a emis în acest sens o serie de instrucţiuni de exploatare care se pot implementa relativ uşor într-un SE.

Achiziţia de experienţă de exploatare prin discuţii directe cu personalul de exploatare este anevoioasă, ea depinzînd de mulţi factori psihologici dintre care cel mai puternic este motivaţia.

Credem astfel că o acţiune de colectare de experienţă nu se poate face în condiţiile din ţara noastră decît centralizat, de către RENEL, care să pună apoi la dispoziţia celor interesaţi (filiale RENEL, cercetători) astfel de instrucţiuni.

BIBLIOGRAFIE

[1] Bunchin, V. *Exploatarea instalaţiilor de turbine cu abur*. Editura Energetică de Stat, 1959 ;
[2] * * * *Performance Monitoring Enhances Power Plant Operatio* . In : Power Engneering, August 1988.

(Primit la 13 iulie 1993, acceptat la 12 august 1993

Rețele neuronale "feed-forward" și Kohonen — soluții de implementare și studii de comportament

Ing. MIHAI SĂNDULEAC, ing. MĂLINA IFTIMIE, ing. MARIUS IFTIMIE*

Lucrarea prezintă aspecte teoretice și practice pentru două tipuri de rețele neuronale mai des utilizate în aplicațiile din domeniul energetic: rețelele „feed-forward", cunoscute și sub numele de „multilayer-Perceptron" și retelele Kohonen. Articolul descrie și rezultatele obținute prin folosirea celor două tipuri de rețele neuronale în prognoza consumurilor energetice pe termen mediu. Un capitol aparte demonstrează capabilitatea rețelelor feed-forward de a modela funcții neliniare.

The paper presents the theoretical and practical aspects of two of the most used neural networks types in the power system field: the feed-forward (Multi-Layer-Perceptron) neural network and the Kohonen neural network. The application of these techniques for medium-time load forecasting is described and the results are presented. A dedicated chapter deals with the feed-forward networks capabilities for modeling non linear functions.

Introducere

Rețelele neuronale, după o perioadă relativ lungă de stagnare ca importanță, au cunoscut o adevărată explozie în ultimii 5 ani, ca urmare atît a creșterii puterii de calcul a calculatoarelor, cît și a apariției unor metode noi de abordare a acestora. În momentul de față se consideră că rețelele neuronale (NN — Neural Networks) au fost aduse în cîteva domenii în zona aplicațiilor efective. Principalul impediment, odată tehnica utilizării NN clarificată, a mai reprezentat-o încă necesitatea unei puteri de calcul superioare celor uzuale. Acest aspect a început la rîndul său să devină superfluu odată cu introducerea pe piață a primei generații de rețele neuronale implementate în pastila de siliciu. Aceste circuite integrate sînt de fapt multiprocesoare specializate pe funcțiile specifice NN, înglobînd 4, 16 pînă la 256 neuroni pe o singură pastilă de siliciu. Viteza de calcul crește în aceste condiții de 10 pînă la 1000 ori față de implementările de calculatoarele clasice.

Rezultatele de ultimă oră în domeniul aplicării NN sînt atît de promițătoare încît unele firme producătoare și utilizatoare ale acestor tehnici au început în ultima vreme să păstreze deplinul secret în ceea ce privește atît noile metode, cît și calitatea rezultatelor (care se consideră a fi deosebite). De exemplu, unul din cele mai interesante domenii în care NN se folosește deja intensiv este cel al bursei. Aici legile de variație a valorii acțiunilor, precum și alte caracteristici de interes sînt extrase cu ajutorul NN, pe baza antrenării acestora cu evoluții anterioare. În acest domeniu, cei ce folosesc deja noile tehnici, păstrează deplina tăcere (cel puțin deocamdată) pentru că avantajul utilizării lor se traduce în mulți bani cîștigați.

Și în domeniul energetic există deja o serie de aplicații în care NN se dovedesc a fi foarte potrivite. Calitatea NN de a putea învăța fără a le fi date reguli clare de funcționare a sistemului urmărit, ci numai pe baza observării acestuia, este deosebit de utilă într-o serie de situații.

Articolul de față prezintă două din cele mai importante tipuri de NN, rețelele asociative („feed-forward") și rețelele Kohonen. Colectivul de elaborare a ales ca exemplu concret din domeniul energeticii pe cel al prognozei

* Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București.

consumului de energie electrică în România, care este abordat din perspectiva ambelor metode. Mai este prezentat un studiu privind capacitatea rețelelor feed-forward de a modela cîteva funcții neliniare.

1. Eficiența rețelelor neuronale feed-forward pentru prognoza pe termen mediu

O rețea feed-forward multilayer este formată din trei tipuri de nivel de neuroni, și anume un nivel de intrare, un nivel de ieșire și unul sau mai multe niveluri ascunse.

Nodurile de pe nivelul de intrare primesc semnale de intrare de la surse externe, iar nodurile de pe nivelul de ieșire furnizează semnalele de ieșire dorite. Un lucru important este reprezentat de faptul că doar neuronii de pe nivelul ascuns și de pe cel de ieșire sînt neuroni care realizează funcții de activare și de ieșire. De asemenea, trebuie reținut că în rețele feed-forward propagarea semnalului este permisă numai de la nivelul de intrare spre cel ascuns și de la nivelul ascuns spre cel de ieșire. Conexiunile dintre neuronii de pe același nivel sau de la nivelul de intrare direct spre cel de ieșire nu sînt permise.

Fiecare legătură dintre doi neuroni se caracterizează printr-o pondere „W", iar fiecare neuron prin funcția de transfer, intrare și ieșire.

Intrarea de pe fiecare neuron ascuns se calculează astfel :

$$net_b = \sum_{a=1}^{NA} W_{ba} \cdot O_a,$$

unde :

b este nivelul ascuns ;

NA — numărul de neuroni din planul de intrare ;

W_{ba} — ponderea legăturii cu neuronul „a" din planul de intrare ;

O_a — ieșire neuroni plan de intrare.

O relație analoagă se obține pentru nivelul de ieșire.

Ieșirile neuronilor se calculează astfel :

$$O_a = net_a,$$

$$O_b = 1/(1 + e^{-(net_b + teta_b)}) = f_b(net_b, teta_b),$$

$$O_c = 1/(1 + e^{-(net_c + teta_c)}) = f_c(net_c, teta_c),$$

unde :

net_a este semnal de intrare pe neuron ;

f — funcția de transfer (în acest caz funcție exponențială).

Articolul de față prezintă un studiu al rețelelor feed-forward asupra cărora se aplică tehnica de învățare „backpropagation". Această tehnică este o foarte cunoscută metodă de învățare pentru rețele multilayer. Este o tehnică de optimizare gradient care urmărește minimizarea erorii pătratice totale a ieșirilor unei rețele feed-forward. Ea presupune o propagare înapoi a erorilor, urmată de o corecție corespunzătoare a valorilor ponderilor pe legături.

Procesul de învățare este influențat de doi factori :

— alfa = factor de accelerare ;

— eta = rata de învățare.

Acești doi factori influențează rata de convergență a învățării. Ei pot fi modificați în timpul învățării pentru o convergență mai rapidă și mai sigură.

Pe baza celor spuse și pentru a demonstra eficiența rețelelor neuronale, s-au implementat mai multe tipuri de rețele feed-forward pentru prognozarea consumului de energie termică și electrică pe termen scurt. În continuare se prezintă două exemple de astfel de implementări și rezultatele lor.

EXEMPLUL I

Se prezintă o rețea neuronală feed-forward pentru prognoza pe termen mediu a consumului de energie termică pentru Ministerul Industriei.

Rețeaua este structurată pe trei niveluri de neuroni, cu patru neuroni pe nivelul de intrare, un neuron pe nivelul de ieșire și trei neuroni pe nivelul intermediar.

S-au folosit ca date de învățare valorile trimestriale ale consumului de energie termică pe anii 1990/1992. Rețeaua a fost învățată primind ca intrări valorile consumului de energie pe patru trimestre consecutive, iar ca ieșire cele ale următorului trimestru. Datele după care a fost învățată sînt prezentate în tabelul 1. În urma învățării cu aceste date rețeaua converge rapid și scoate o eroare pătratică medie pe ieșire de 0,0086. Ea prognozează pentru trimestrul III al anului 1992 un consum de energie termică de 3319 mii Gcal, față de consumul real care a fost de 3260 mii Gcal, deci o eroare de 1,7 %.

Tabelul 1

Intrări [mii Gcal]				Ieșire
10100	7270	6796	8111	8184
7270	6796	8111	8184	5875
6796	8111	8184	5875	4930
8111	8184	5875	4930	5855
8184	5875	4930	5855	6490
5875	4930	5855	6490	3940

EXEMPLUL II

Se prezintă o rețea neuronală feed-forward pentru prognoza pe termen mediu a consumului de energie electrică pentru consumul intern.

Rețeaua este structurată pe trei niveluri de neuroni, cu șase neuroni pe nivelul de intrare, un neuron pe nivelul de ieșire și patru neuroni pe nivelul intermediar.

S-au folosit ca date de învățare valorile lunare ale consumului de energie electrică pe anii 1990/1992. Rețeaua a fost învățată primind ca intrări valorile consumului de energie pe șase luni consecutive, iar ca ieșire consumul următoarei luni. Datele după care a fost învățată sînt prezentate în tabelul 2. Pe baza acestor date asimilate de către rețea se prevede, pentru luna decembrie a anului 1992, o valoare de 5220,4 față de 5251,3 reală. S-a obținut astfel o eroare foarte mică, și anume 0,5 %.

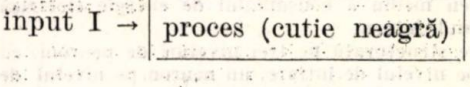
Tabelul 2

Intrări [MW]						Ieșire
6682,7	6083,0	6550,2	6206,5	6298,2	5867,0	6380,1
6083,0	6550,2	6206,5	6298,2	5867,0	6380,1	6202,3
6550,2	6206,5	6298,2	5867,0	6380,1	6202,3	5534,2
6206,5	6298,2	5867,0	6380,1	6202,3	5534,2	5689,5
6298,2	5867,0	6380,1	6202,3	5534,2	5689,5	5979,9
5867,0	6380,1	6202,3	5534,2	5689,5	5979,9	6133,4
6380,1	6202,3	5534,2	5689,5	5979,9	6133,4	5792,0
6202,3	5534,2	5689,5	5979,9	6133,4	5792,0	5282,4
5534,2	5689,5	5979,9	6133,4	5792,0	5282,4	5856,3
5689,5	5979,9	6133,4	5792,0	5282,4	5856,3	5448,0
5979,9	6133,4	5792,0	5282,4	5856,3	5448,0	5381,4
6133,4	5792,0	5282,4	5856,3	5448,0	5381,4	4297,0
5792,0	5282,4	5856,3	5448,0	5381,4	4297,0	5050,2
5282,4	5856,3	5448,0	5381,4	4297,0	5050,2	4989,1
5856,3	5448,0	5381,4	4297,0	5050,2	4989,1	4867,1
5448,0	5381,4	4297,0	5050,2	4989,1	4867,1	5222,7
5381,4	4297,0	5050,2	4989,1	4867,1	5222,7	5190,1
4297,0	5050,2	4989,1	4867,1	5222,7	5190,1	5630,2
5050,2	4989,1	4867,1	5222,7	5190,1	5630,2	5700,6
4989,1	4867,1	5222,7	5190,1	5630,2	5700,6	5391,9
4867,1	5222,7	5190,1	5630,2	5700,6	5391,9	5453,0
5222,7	5190,1	5630,2	5700,6	5391,9	5453,0	4811,9
5190,1	5630,2	5700,6	5391,9	5453,0	4811,9	4567,1
5630,2	5700,6	5391,9	5354,0	4811,9	4567,1	4268,1
5700,6	5391,9	5453,0	4811,0	4567,1	4268,1	4362,1
5391,9	5453,0	4811,9	4567,1	4268,1	4362,1	4411,5
5453,0	4811,9	4567,1	4268,1	4362,1	4411,5	4328,8
4811,9	4567,1	4268,1	4362,1	4411,5	4328,8	4780,8
4567,1	4268,1	4362,1	4411,5	4328,8	4780,8	5004,9

2. Modelarea unor funcții neliniare și nederivabile (NN) cu ajutorul rețelelor „feed-forward"

Un alt set de exemple privind capabilitățile rețelelor feed-forward de a învăța legea de variație a unui anumit proces este prezentat în continuare.

Se consideră următoarea aplicație: se dă o „cutie neagră" avînd o intrare și o ieșire. Se pune problema dacă pe baza observării unui set cît mai complet de perechi (intrare-ieșire) este posibil ca o rețea neuronală să învețe să se comporte în spiritul cutiei negre, permițînd furnizarea unor ieșiri cît mai corecte pentru orice valoare de intrare.



Pentru a analiza capabilitățile NN pentru o astfel de aplicație s-au considerat următoarele funcții pentru proces:

$$f_1(x) = \begin{cases} -2 & \text{pentru } x < -2 \\ x & \text{pentru } -2 <= x <= 2 \\ 2 & \text{pentru } x > 2 \end{cases}$$

$$f_2(x) = \begin{cases} 2 & \text{pentru } x < -2 \\ -x & \text{pentru } -2 <= x < 0 \\ x & \text{pentru } 0 <= x <= 2 \\ 2 & \text{pentru } x > 2 \end{cases}$$

Pentru antrenarea NN s-au folosit seturi de valori $[x, f(x)]$, pentru x între -4 și 4.

S-au analizat următoarele cazuri:

Exemplul 1: NN cu o intrare, patru neuroni intermediari și o ieșire, antrenată cu f_1;

Exemplul 2: NN cu o intrare, opt neuroni intermediari și o ieșire, antrenată tot cu f_1;

Exemplul 3: NN cu o intrare, opt neuroni intermediari și o ieșire, antrenată cu f_2.

S-au folosit următoarele valori pentru x: -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 și 4, care au fost introduse pe intrarea NN, cerîndu-se la ieșire valoarea dată de f_1, respectiv f_2.

În urma învățării setului de intrări-ieșiri, cele trei rețele antrenate au fost testate cu valori x în același domeniu, dar cu un pas mult mai fin. În figurile 1, 3 și 5 sînt reprezentate suprapus graficele ideale și cele reale, obținute cu rețeaua neuronală, pentru cele trei exemple. Se observă o foarte bună „învățare" a funcției prezentate sub formă de exemple, erorile fiind foarte mici (fig. 2, 4 și 6).

Exemplele demonstrează fără echivoc posibilitatea rețelelor neuronale de a se modela pe procese care au comportamente profund neliniare.

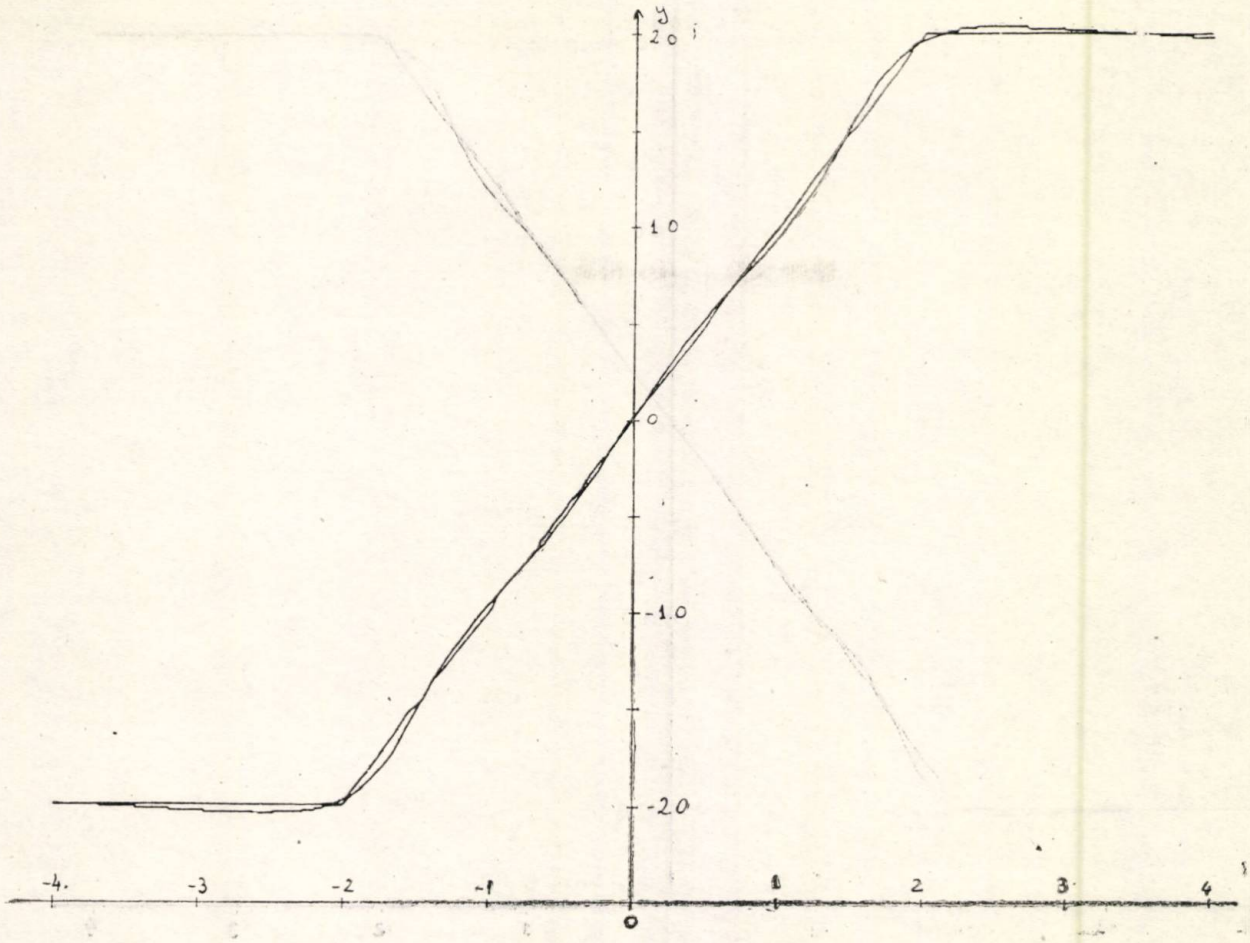


Fig. 1. Comportarea NN cu patru neuroni intermediari comparativ cu f_1.

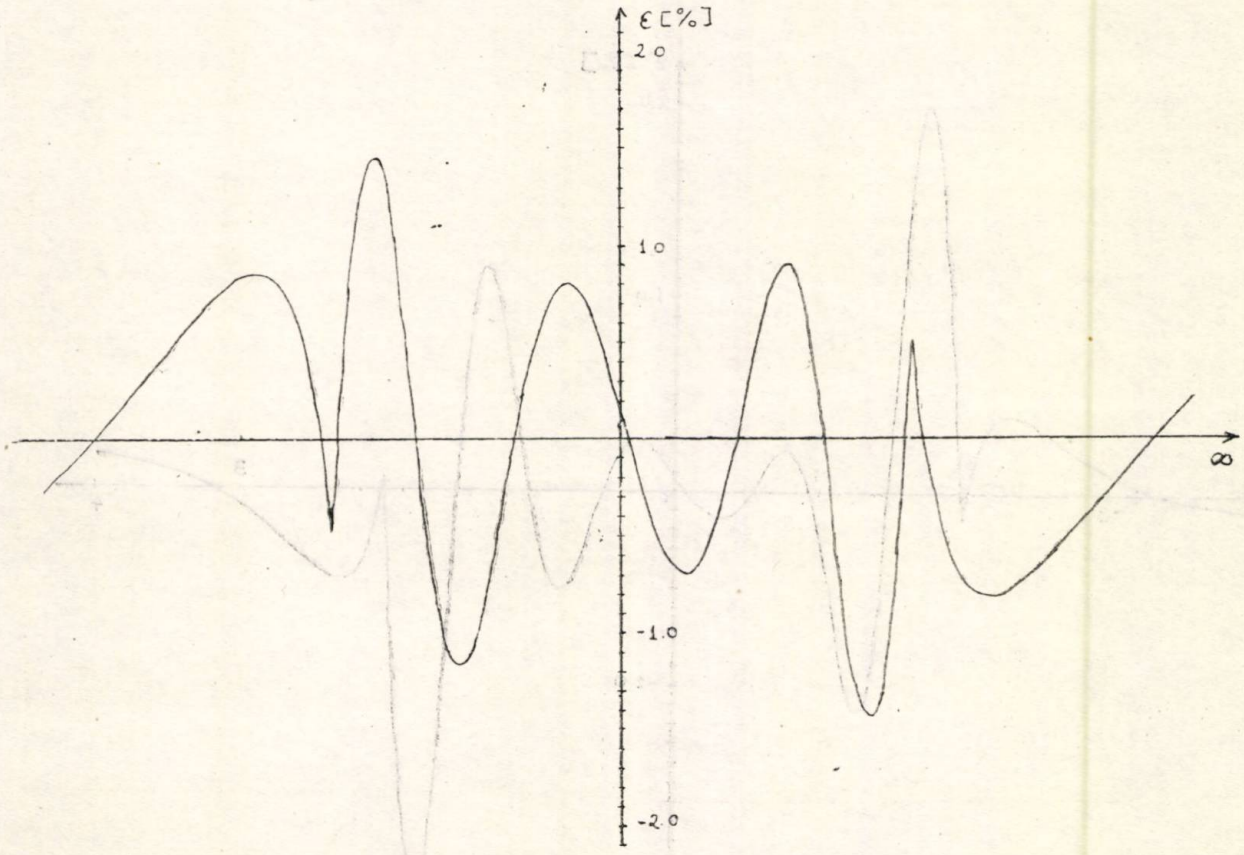


Fig. 2. Evoluția erorii în exemplul 1.

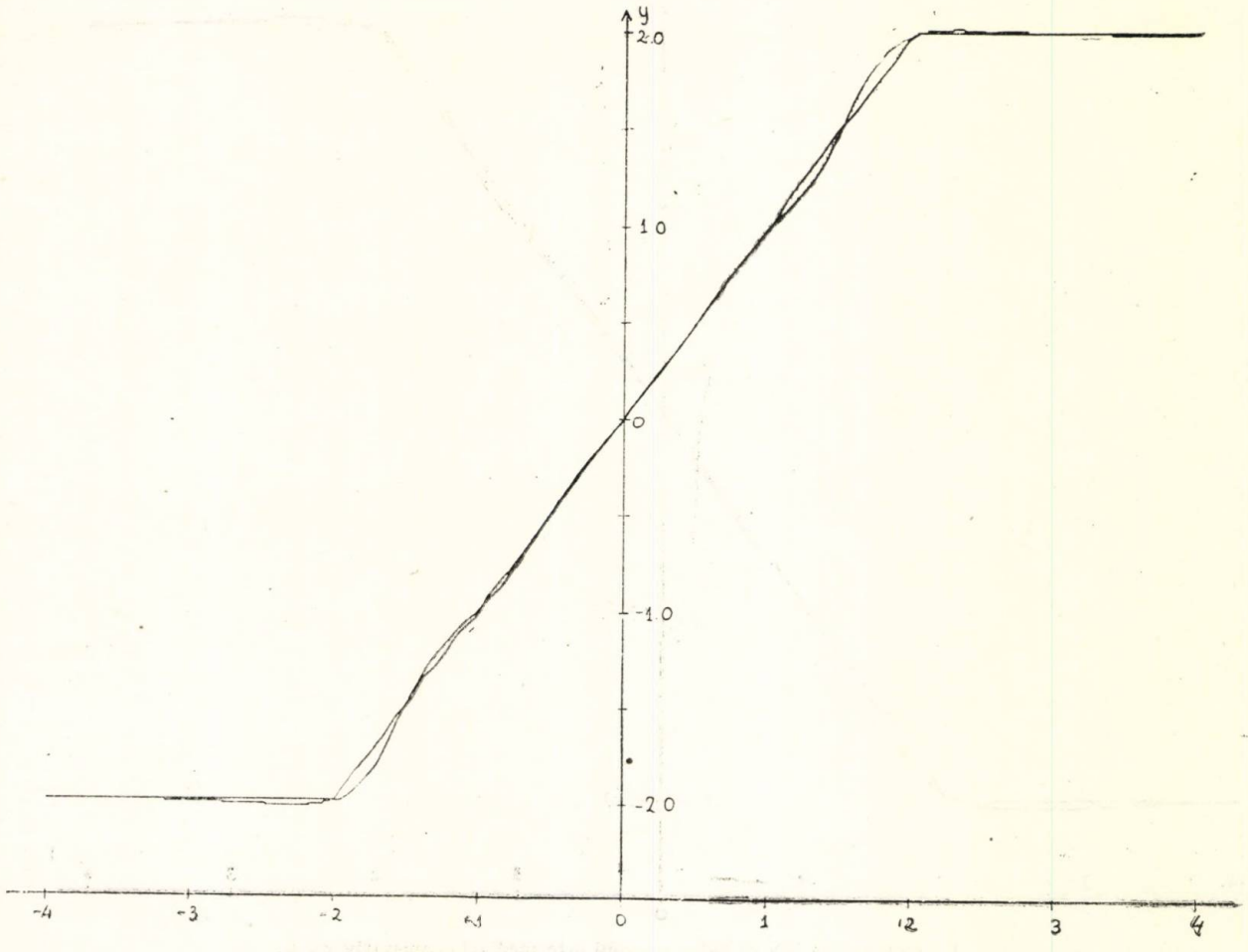


Fig. . Comportarea NN cu opt n euron nterm.eu ari comparativ cu f_1.

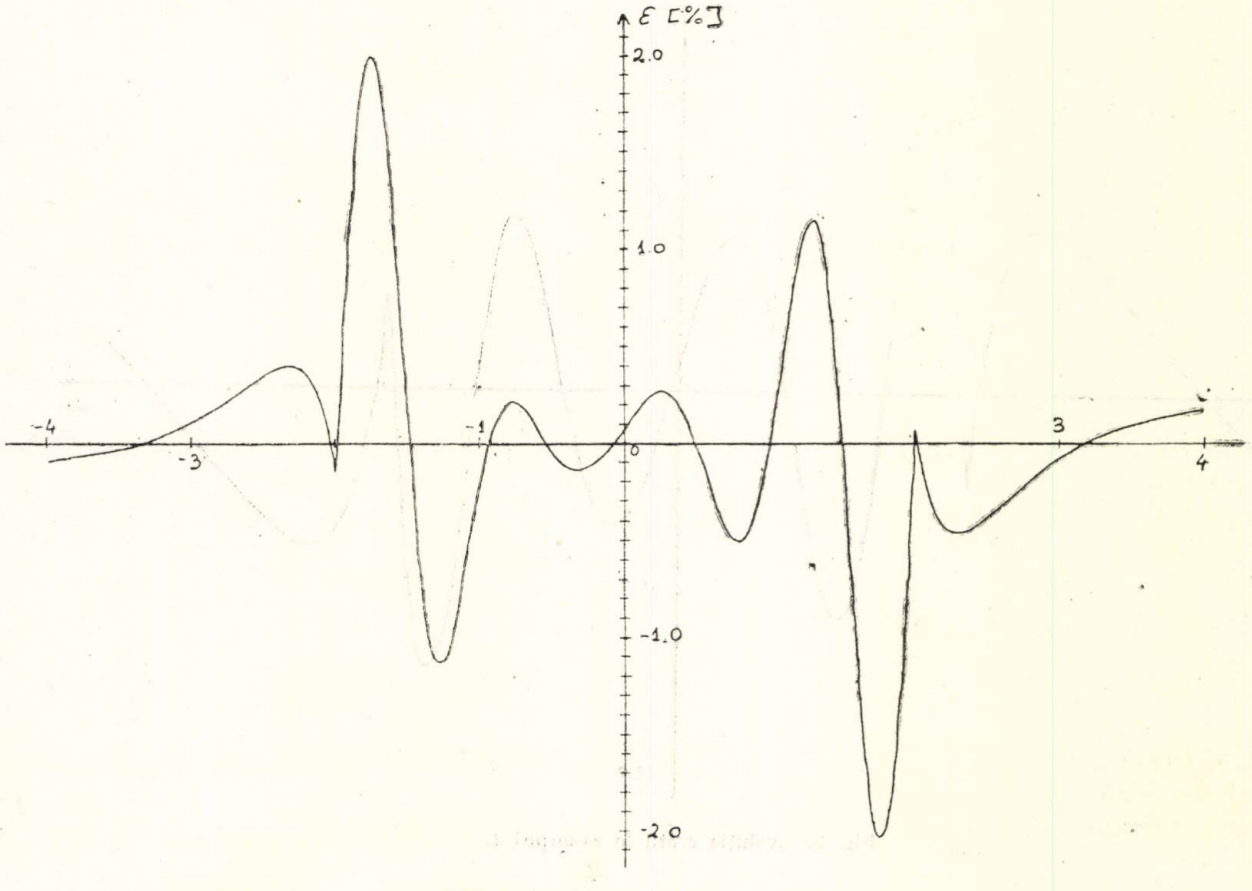


Fig. 4. Evoluția erorii n exemplul 2.

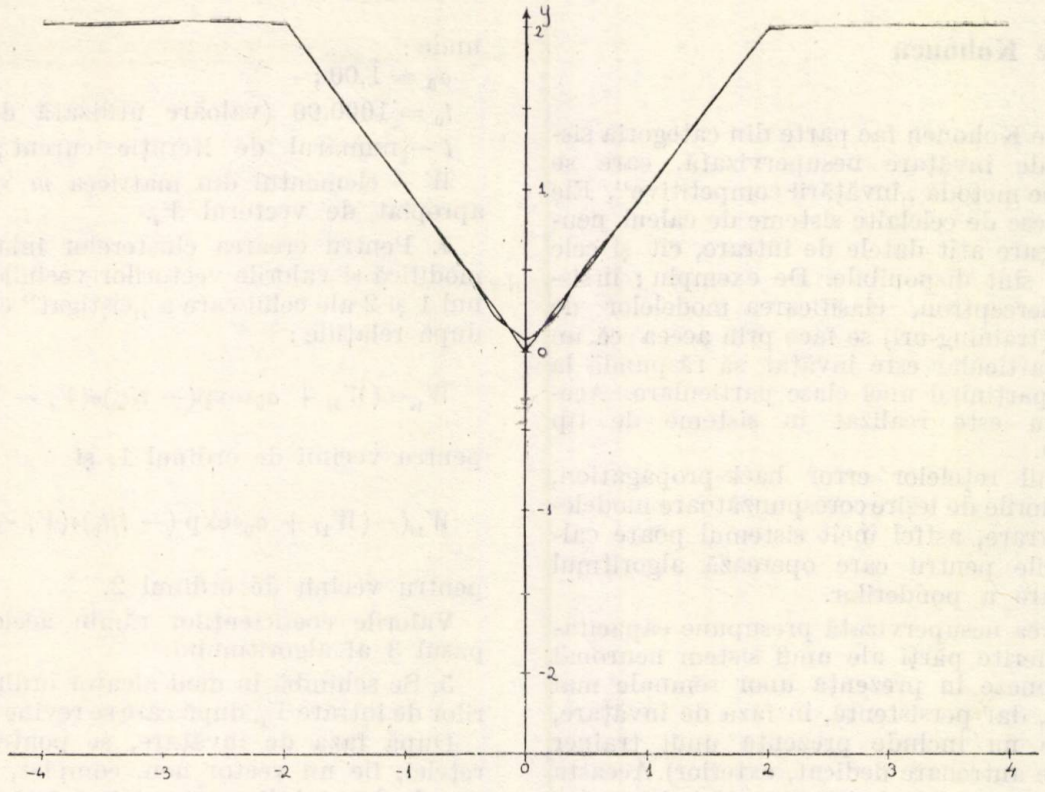


Fig. 5. Comportarea NN cu opt neuroni intermediari comparativ cu f_2.

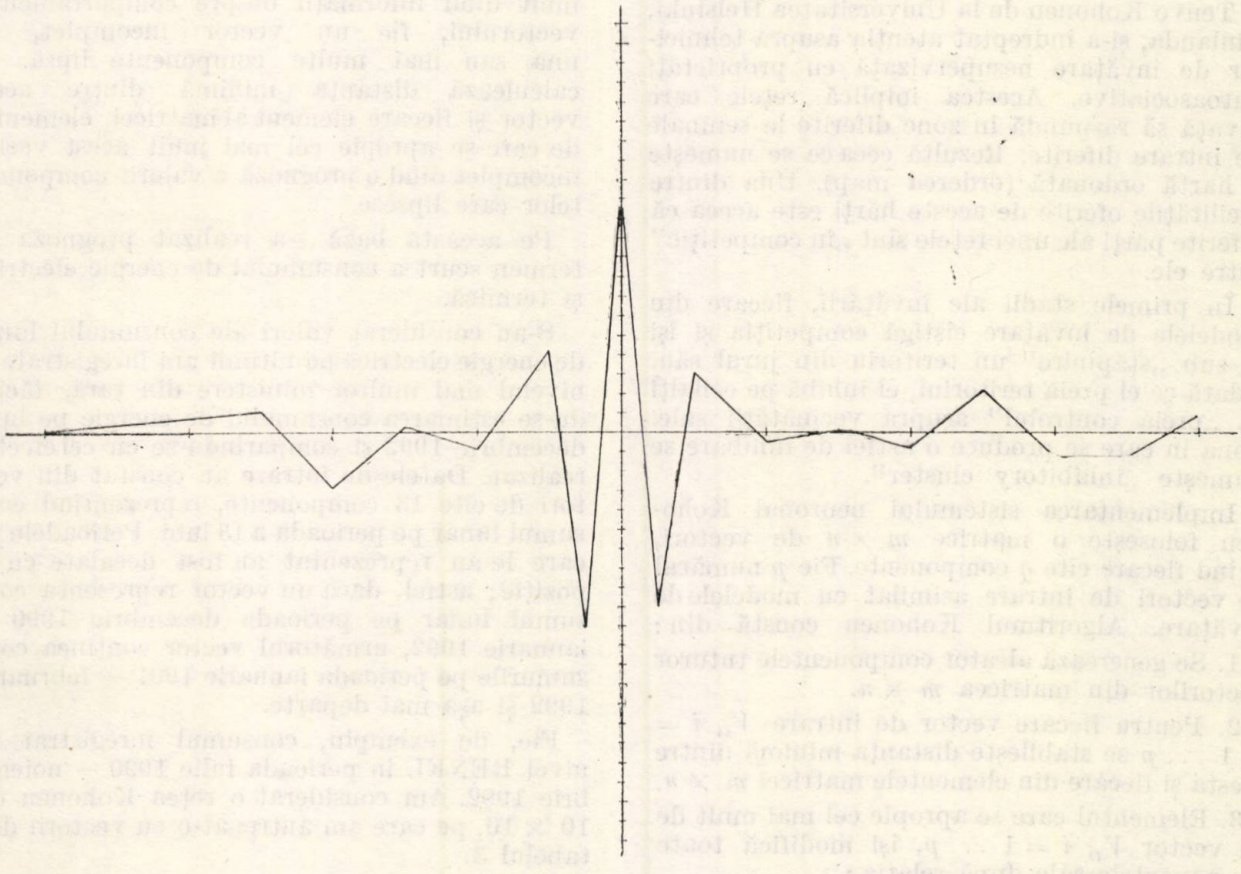


Fig. 6. Evoluția erorii în exemplul 3.

3. Rețele Kohonen

Rețelele Kohonen fac parte din categoria sistemelor de învățare nesupervizată, care se bazează pe metoda „învățării competitive". Ele se deosebesc de celelalte sisteme de calcul neuronal în care atît datele de intrare, cît și cele de ieșire, sînt disponibile. De exemplu : în sistemele perceptron, clasificarea modelelor de învățare (training-uri) se face prin aceea că un neuron particular este învățat să răspundă la modele aparținînd unei clase particulare. Același lucru este realizat în sisteme de tip WISARD.

În cazul rețelelor error back-propagation, se dau valorile de ieșire corespunzătoare modelelor de intrare, astfel încît sistemul poate calcula erorile pentru care operează algoritmul de ajustare a ponderilor.

Învățarea nesupervizată presupune capacitatea ca diferite părți ale unui sistem neuronal să reacționeze în prezența unor semnale mai complexe, dar persistente, în faza de învățare, fază care nu include prezența unui trainer (sistem de antrenare dedicat, exterior). Aceasta este de fapt o capacitate importantă a sistemelor de învățare naturale (vii).

Teuvo Kohonen de la Universitatea Helsinki, Finlanda, și-a îndreptat atenția asupra tehnicilor de învățare nesupervizată cu proprietăți autoasociative. Acestea implică rețele care învață să răspundă în zone diferite la semnale de intrare diferite. Rezultă ceea ce se numește o hartă ordonată (ordered map). Una dintre facilitățile oferite de aceste hărți este aceea că diferite părți ale unei rețele sînt „în competiție" între ele.

În primele stadii ale învățării, fiecare din modelele de învățare cîștigă competiția și își ia sub „stăpînire" un teritoriu din jurul său. Odată ce el preia teritoriul, el inhibă pe ceilalți să „preia controlul" asupra vecinătății sale. Zona în care se produce o astfel de inhibare se numește „inhibitory cluster".

Implementarea sistemului neuronal Kohonen folosește o matrice $m \times n$ de vectori, avînd fiecare cîte q componente. Fie p numărul de vectori de intrare asimilat cu modelele de învățare. Algoritmul Kohonen constă din :

1. Se generează aleator componentele tuturor vectorilor din matricea $m \times n$.

2. Pentru fiecare vector de intrare V_i, $i = 1 \ldots p$ se stabilește distanța minimă dintre acesta și fiecare din elementele matricei $m \times n$.

3. Elementul care se apropie cel mai mult de un vector V_i, $i = 1 \ldots p$, își modifică toate componentele sale după relația :

$$W_i <- W_i + a_0 * \exp(-t/t_0) * (V_i - W_i),$$

unde :

$a_0 = 1.00$;

$t_0 = 1000.00$ (valoare utilizată de autori) ;

t — numărul de iterație curent ;

W — elementul din matricea $m \times n$ cel mai apropiat de vectorul V_i.

4. Pentru crearea clusterelor inhibitorii, se modifică și valorile vectorilor vecinilor de ordinul 1 și 2 ale celui care a „cîștigat" competiția, după relațiile :

$$W_{1i} \leftarrow (W_{1i} + a_0 * \exp(-t/t_0) * (V_i - W_{1i}))/2 \leftarrow$$

pentru vecinii de ordinul 1, și

$$W_{1i}(-(W_{1i} + a_0 * \exp(-t/t_0) * (V_i - W_{1i}))/3,$$

pentru vecinii de ordinul 2.

Valorile coeficienților rămîn aceleași ca la pasul 3 al algoritmului.

5. Se schimbă în mod aleator ordinea vectorilor de intrare V_i, după care se revine la pasul 2.

După faza de învățare, se poate prezenta rețelei, fie un vector nou, complet, urmînd a se calcula apoi distanța minimă față de vectorii din matrice, zona de care se apropie cel mai mult dînd informații despre comportamentul vectorului, fie un vector incomplet, cu una sau mai multe componente lipsă. Se calculează distanța minimă dintre acest vector și fiecare element al matricei, elementul de care se apropie cel mai mult acest vector incomplet dînd o prognoză a valorii componentelor care lipsesc.

Pe această bază s-a realizat prognoza pe termen scurt a consumului de energie electrică și termică.

S-au considerat valori ale consumului lunar de energie electrică pe ultimii ani înregistrate la nivelul mai multor ministere din țară, făcîndu-se estimarea consumului de energie pe luna decembrie 1992 și comparîndu-se cu cel efectiv realizat. Datele de intrare au constat din vectori de cîte 13 componente, reprezentînd consumul lunar pe perioada a 13 luni. Perioadele pe care le-au reprezentat au fost decalate cu o poziție ; astfel, dacă un vector reprezenta consumul lunar pe perioada decembrie 1990 — ianuarie 1992, următorul vector conținea consumurile pe perioada ianuarie 1991 — februarie 1992 și așa mai departe.

Fie, de exemplu, consumul înregistrat la nivel RENEL în perioada iulie 1990 — noiembrie 1992. Am considerat o rețea Kohonen de 10×10, pe care am antrenat-o cu vectorii din tabelul 3.

Toate valorile de mai sus reprezintă consumul de energie electrică, în milioane kWh.

Tabelul 3

iul. 90 — aug. 91	aug. 90 — sep. 91	sept. 90 — oct· 91	oct. 90 — nov. 91	nov. 90 — dec. 91	dec. 90 — ian. 92	ian. 91 — feb. 92	feb. 91 — anr. 92
1034,6	965,7	956,3	1087,2	1209,8	1301,2	1426,0	1236,4
965,7	956,3	1087,2	1209,8	1301,2	1426,0	1236,4	1176,3
956,3	1087,2	1209,8	1301,2	1426,0	1236,4	1176,3	1088,3
1087,2	1209,8	1301,2	1426,0	1236,4	1176,3	1088,3	943,1
1209,8	1301,2	1426,0	1236,4	1176,3	1088,3	943,1	805,2
1301,2	1426,0	1236,4	1176,3	1088,3	943,1	805,2	743,2
1426,0	1236,4	1176,3	1088,3	943,1	805,2	743,2	737,4
1236,4	1176,3	1088,3	943,1	805,2	743,2	737,4	793,4
1176,3	1088,3	943,1	805,2	743,2	737,4	793,4	1054,9
1088,9	943,1	805,2	743,2	737,4	793,4	1054,9	1272,5
943,1	805,2	743,2	737,4	793,4	1054,9	1272,5	1468,5
805,2	743,2	737,4	793,4	1054,9	1272,5	1468,5	1497,6
743,2	737,4	793,4	1054,9	1272,5	1468,5	1497,6	1371,4
737,4	793,4	1054,9	1272,5	1468,5	1497,6	1371,4	1106,0

mar. 91 — apr. 92	apr. 91 — mai 92	mai 91 — iun. 92	iun.91 — iul. 92	iul. 91 — aug. 92	aug. 91 — sep. 92	sep. 91 — oct. 92	oct. 91 — nov. 92
1176,3	1088,3	943,1	805,2	743,2	737,4	793,4	1054,9
1088,3	943,1	805,2	743,2	737,4	793,4	1054,9	1272,5
943,1	805,2	743,2	737,4	793,4	1054,9	1272,5	1468,5
805,2	743,2	737,4	793,4	1054,9	1272,5	1468,5	1497,6
743,2	737,4	793,4	1054,9	1272,5	1468,5	1497,6	1371,4
737,4	793,4	1054,9	1272,5	1468,5	1497,6	1371,4	1106,0
793,4	1054,9	1272,5	1468,5	1497,6	1371,4	1106,0	881,5
1054,9	1272,5	1468,5	1497,6	1371,4	1106,0	881,5	793,9
1272,5	1468,5	1497,6	1371,4	1106,0	881,5	793,9	666,0
1468,5	1497,6	1371,4	1106,0	881,5	793,9	666,0	709,5
1497,6	1371,4	1106,0	881,5	793,9	666,0	709,5	761,2
1371,4	1106,0	881,5	793,9	666,0	709,5	761,2	751,5
1106,0	881,5	793,9	666,0	709,5	761,2	751,5	980,1
881,5	793,9	666,0	709,5	761,2	751,5	980,1	1165,4

Harta rezultată în urma antrenării cu acești vectori este prezentată în figura 7. În figură sînt reprezentate încercuit punctele de pe harta Kohonen, în care unul dintre vectorii de antrenare a „cîștigat" competiția, iar celelalte puncte reprezentate sînt zonele pe care fiecare dintre „cîștigători" și le-a adjudecat.

Se observă de pe hartă că fiecare zonă are ca vecini zone reprezentînd consumuri pe perioade adiacente ; de exemplu, perioada august 1991-septembrie 1992 se învecinează atît cu perioada următoare, septembrie 1991-octombrie 1992, cît și cu cea anterioară iulie 1991-august 1992. În plus, se observă vecinătatea și a acelorași perioade, dar corespunzînd la ani diferiți, de exemplu august 1991-septembrie 1992 cu august 1990-septembrie 1991.

După antrenare, venind cu un vector incomplet, care reprezintă consumul pe perioada noiembrie 1991-noiembrie 1992, rețeaua va calcula minimul distanței dintre acest vector și toți ceilalți, indicînd că cea de-a 13-a componentă va fi 1418, 78 mil. kWh. În realitate, consumul a fost de 1437,6 mil. kWh, deci s-a produs o eroare de 1,309%.

În același fel s-au obținut pentru alte ministere sau departamente ale acestora, rezultatele din tabelul 4.

Tabelul 4

Ministerul (departam.)	Valoare prognozată [mil. kWh]	Valoare realizată [mil. kWh]	Eroare [%]
D. Petrolului	180.27	194.0	7.074
D. Minelor	251.92	262.8	4.13
D. Geologiei	5.2	5.6	7.14
D. Metalurgiei	634.71	636.3	0.248
D.I.C.M.	250.69	233.8	7.22
Populație	711.83	694.6	2.48

Diferențele care apar între erorile cu care sînt prognozate consumurile între diferite departamente se datoresc și dificultăților prin care au trecut unele dintre ele, ceea ce a dus la apariția unor salturi bruște în valorile consumurilor lunare care au modificat relațiile de vecinătate dintre vectorii de antrenare. Erorile mai mari pentru anumite ministere pot fi interpretate și ca o dovadă a neregularității evoluției acestora în perioada dată.

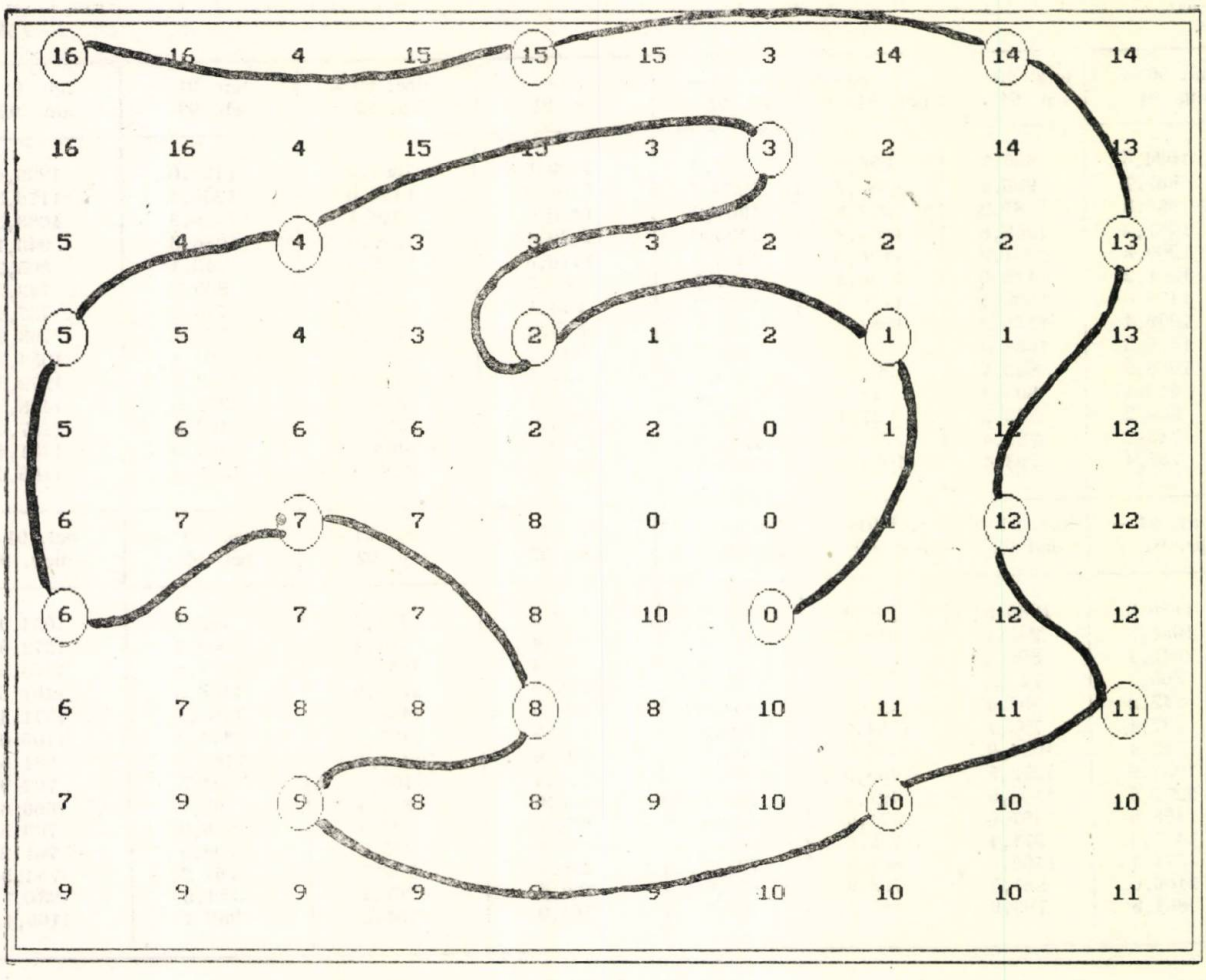


Fig. 7. Harta ordonata Kohonen.

Concluzii

Reţelele neuronale prezintă reale capacităţi de aplicare în domeniul energetic. În lucrare este demonstrată, ca exemplu, posibilitatea prognozării unor mărimi de interes (aici fiind vorba de consum). Erorile, obţinute prin comparare cu realitatea dovedesc faptul că, deşi este loc de îmbunătăţiri, reţelele neuronale pot fi folosite ca instrument de lucru într-o serie de domenii importante, din care unul este cel al prognozei sarcinii.

Calitatea de bază a NN, aceea de a învăţa natura procesului numai pe bază de exemple, face posibilă abordarea oricărei aplicaţii ca pe o cutie neagră, ale cărei legităţi ajung să fie cunoscute în mod „intuitiv" de NN după finalizarea procesului de învăţare.

(Primit la 30 martie 1993, acceptat la 12 august 1993)

PROPUNERE DE TERMINOLOGIE ÎN DOMENIUL INTELIGENȚEI ARTIFICIALE

1. Logica formală

1.1. Conceptul este o gîndire care reflectă notele comune și esențiale ale obiectelor. Se formează prin funcționarea facultății de generalizare a intelectului. A generaliza înseamnă a compara între ele obiectele unei mulțimi și a extrage calitățile comune, reținîndu-le într-o unitate. Pentru acest proces se folosesc : analiza și sinteza, abstracția și generalizarea. Conceptul are două proprietăți inseparabile : conținutul (ansamblul proprietăților, respectiv al calităților) și sfera (ansamblul elementelor a căror notă este comună). Conceptele pot fi singulare, generale sau colective, comparabile sau necomparabile. Raporturile între concepte pot fi de identitate, de ordinare (de supraordinare sau de subordinare), de parte din tot, de contrarietate etc.

1.2. Judecata este o gîndire care afirmă sau neagă ceva despre elementele unei mulțimi sau/și însușirile lor. Bineînțeles, elementele pot fi obiecte reflectate prin concepte.

Judecătile pot fi : de existență și de valoare. Orice judecată are trei termeni : subiectul logic, predicatul logic și capsula, elementul logic al judecății care face legătura între subiect și predicat ; în mod uzual acest element se prezintă sub forma „este" sau „sînt".

1.3. Raționamentul este operația logică fundamentală, prin care, prin înlănțuirea mai multor judecăți, plecînd de la cunoștințe date se obține o judecată nouă sau cunoștințe noi. Raționamentul poate fi deductiv (pornind de la general la particular) și inductiv (pornind de la particular la general). Tipul raționamentului deductiv simplu este silogismul. Deducțiile succesive se realizează prin polisilogisme. Raționamentul inductiv poate fi : a) complet, în care concluzia se bazează pe premisele care epuizează toate cazurile fenomenului, b) necomplet (în contrast cu cazul a) cazul b) poate duce la o generalizare pripită ; c) științific, strîns legat de activitatea de cercetare. Raționamentul inductiv științific folosește în mod complex sinteza și analiza, cercetarea însușirilor esențiale, precum a legăturilor cauzale. Ca metode de lucru se folosesc : observația, comparația, cunoștințele existente.

Atenție : O mare greșeală se poate face cînd se confrundă legătura cauzală cu simpla succesiune în timp.

Dintre raționamente cel ipotetic este cel mai folosit în inteligența artificială : cînd (dacă) ... atunci ...

Uneori raționamente aparent corecte sînt false și în acest caz se numesc sofisme. Sofismele nu respectă regulile sofismelor, fie din necunoaștere, fie în mod deliberat, cu scopul de a se încerca înșelarea celor cărora li se adresează concluzia.

1.4. Analogia este o altă formă de raționament. Se folosește cu predilecție în modelare. Analogia este o inferență cu caracter probabil, prin care, pe baza asemănării între două obiecte, în unele privințe aparente, se presupun asemănări și în unele privințe neaparente.

1.5. Euristica. Cuvîntul provine de la grecescul „heurisko" cu semnificația „a descoperi" și în sens larg este o ramură a științei care se ocupă de studiul activității creatoare, a metodologiei și tehnicii inovației intelectuale. În sens uzual este un raționament prin care descoperirea adevărului se face printr-un dialog bine condus.

1.6. Flerul este o caracteristică a inteligenței, care reflectă perspicacitatea și agerimea mai ales în activitatea de observație. Flerul este o caracteristică a inteligenței și reflectă capacitatea de orientare rapidă într-un anumit domeniu sau de rezolvare rapidă a unei probleme dintr-un anumit domeniu. Flerul este un raționament compus, rapid, bazat pe un mare număr de cunoștințe aflate în memorie. De precizat că flerul este asociat unui anumit domeniu, necesită o mare cantitate de cunoștințe experimentale și este specific unor viteze mari de răspuns.

1.7. Inferența este ansamblul de raționamente deductive și inductive, care, împreună cu analogia, procedeele euristice și cu flerul, conduce la concluzii corecte. Inferența este caracteristica gîndirii umane.

1.8. Expert uman este un specialist cu deosebită experiență într-un anumit domeniu, care, folosind procedeele inferenței, ajunge în cel mai scurt timp la concluzii corecte în examinarea unui fapt, unui proces sau unui eveniment.

1.9. Gîndirea — proces complex, specific creierului uman, de reflectare a realității pe baza unor operații logice specifice.

2. Inteligența artificială

2.1. Inteligența artificială este inteligența care se atribuie unui dispozitiv sau mecanism prin care se încearcă reproducerea inteligenței umane, pentru a realiza o gîndire de asemenea artificială.

2.2. Sistemul expert este un sistem cu inteligență artificială, care, fiind dotat cu elementele unui computer, are și un dispozitiv de inferență, ce permite realizarea conexiunilor între concepte, judecăți și raționamente, cu scopul de a ajunge la o concluzie corectă în analiza faptelor, proceselor, evenimentelor. Sistemele expert pot funcționa on-line sau off-line, în funcție de necesități.

Observație. Alte definiții ale sistemului expert puse în discuție :

- un program inteligent care utilizează cunoștințe, fapte, reguli și tehnici de raționament pentru a rezolva o problemă care, în mod normal, necesită competența experților umani (Barr și Edward Feigenbaum de la Universitatea Stanford SUA 81);
- un sistem care achiziționează cunoștințele unui expert uman într-un domeniu restrîns, particular, într-o formă implementabilă pe un calculator. El se folosește pentru a furniza suportul deciziei la un nivel comparabil cu al expertului uman și este capabil să-și justifice raționamentul (Dillom, T.S., Symposium on Expert System Applications to Power Systems. Stockholm — Helsinki, 1988);
- ansamblul unei serii de programe informatice care se sprijină pe informații actuale, pe o bază de date și de reguli de interferență pentru a rezolva probleme care necesită o mare competență umană. Baza de date și cea de reguli sînt modelate după competența celor mai buni practicieni de a rezolva problemele (Sheble, G.B. IEEE PWR—2 nr. 4, nov. 1987);
- un program pentru calculator care să rezolve o problemă, folosind un model bazat pe raționamentul unui expert uman și care ajunge la aceleași concluzii cu acesta, dacă datele problemei sînt aceleași. Un astfel de sistem expert înglobează cunoștințele celor mai buni experți în domeniu.
- un ansamblu de programe de calcul care permit obținerea unor rezultate suficient de precise, pe baza unor „reguli", fără rezolvarea propriu-zisă a problemei, în același mod în care un expert uman, pe baza amplei sale experiențe, estimează soluția problemei.

2.3. Cunoștințele sînt unități de informații, care cuprind acțiuni, idei, fapte, reguli într-un domeniu oarecare.

2.4. Faptele sînt acele unități de informație care cuprind judecăți simple. Un fapt reprezintă o relație dintre un obiect și valoarea sa și se poate exprima sub forma :

⟨obiect⟩, ⟨relație⟩, ⟨valoare⟩

Exemplu :

⟨Intrerupătorul 1⟩, ⟨este în poziția⟩, ⟨anclanșat⟩

2.5. Regulile sînt raționamente deductive care generalizează o experiență. O regulă se compune din două părți : condiția și concluzia sau acțiunea. În general, regula se prezintă sub forma :

DACĂ ⟨condiția⟩ ... ⟨condiția⟩...
ATUNCI ⟨acțiunea⟩
Exemplu :
DACĂ ⟨întrerupătorul este deschis⟩
ATUNCI ⟨deschide separatorul S⟩

Bineînțeles, condițiile trebuie să facă parte din lista de fapte stocate.

2.6. „Pattern — matching" este operația de verificare a fiecărei condiții intrate în reguli prin regăsirea acesteia în lista de fapte.

2.7. Rețelele semantice sînt structuri grafice pentru reprezentarea cunoștințelor. Se folosesc rețele cu noduri și cu arce. Nodurile reprezintă obiecte, iar arcele dintre ele, relații între obiecte.

2.8. Baza de cunoștințe este o colecție de cunoștințe relevante.

2.9. Baza de fapte este ansamblul faptelor necesare a fi avute în vedere într-un anumit domeniu.

2.10. Baza de reguli este ansamblul necontradictoriu al regulilor necesare pentru rezolvarea problemelor dintr-un anumit domeniu.

2.11. Mecanismul de inferență (motor de inferență sau mașină de inferență sau dispozitiv de inferență) este un dispozitiv logic, special conceput pentru a reproduce regulile proceselor de gîndire umană, deci este capabil să efectueze inferențe. În procesul de inferență se folosesc : „căutarea înainte" și „căutarea înapoi".

Observație. Termenul este supus discuției.

2.12. Căutarea înainte (Forword Search) este o tehnică de inferență care folosește în principal deducția pornind de la datele de intrare și ținînd seama de baza de cunoștințe.

2.13. Căntarea înapoi (Backward Search) este tehnica de inferență în care se pleacă de la scop și procedîndu-se prin inducție se „induc" mai multe reguli posibile, care se verifică apoi cu ajutorul bazei de reguli și se confirmă în final.

2.14. Conducerea asistată de calculator (CAM — Computer Aided Management) este conducerea exploatării unei instalații complexe cu ajutorul unui calculator. Pentru aceasta se folosesc diferitele trepte ale inteligenței artificiale, începînd cu calcule simple off-line, pînă la utilizarea sistemelor expert care pot înlocui operatorul uman în proporție de pînă la 100%

Definițiile sînt propuse de un colectiv format din dr. ing. Eugeniu Pavel, prof. dr. ing. Mircea Eremia, prof. dr. ing. Nicolae Golovanov și sînt supuse discuțiilor specialiștilor pînă la 01.02.1994.

PREOCUPĂRILE CIGRE ÎN DOMENIUL UTILIZĂRII INTELIGENȚEI ARTIFICIALE

Datorită promițătoarelor capacități ale tehnicilor inteligenței artificiale și datorită existenței multor probleme dificile în domeniul energetic care așteaptă să fie mai satisfăcător rezolvate, comitetele de studii CIGRE au început să aibă în ultima perioadă de timp preocupări tot mai intense în domeniu.

În continuare se prezintă o sinteză a principalelor preocupări ale CIGRE în această tematică, avînd rolul de a scoate în evidență amploarea acestei activități, cît și categoriile de probleme care se pot rezolva prin aceste noi tehnologii, bazate pe inteligența artificială.

Din rapoartele de activitate pe 1993 ale comitetelor de studii (CS) CIGRE rezultă cele de mai jos :

1. CS11 (Mașini turnate). În cadrul acestui CS, grupul de lucru (GL) 11.02 (Concepția, construcția, încercarea și comportamentul hidrogeneratoarelor) a lansat în 1992 chestionarul *„Sistemele expert și supravegherea hidrogeneratoarelor"*. Răspunsurile vor fi analizate în a doua jumătate a anului 1993.

2. CS13 (Aparatura de comutație). Urmează să se formeze un grup de acțiune (GA) care să analizeze utilizarea logicii „fuzzy" și a rețelelor neuronale cu aplicații la aparatura de comutație (în special pentru estimarea stării aparaturii în timpul funcționării).

3. CS34 (Protecții). În cadrul acestui CS, a fost creat în 1991 GL 34.07 (Configurare integrare funcțională, utilizarea sistemelor expert), avînd ca scop examinarea aplicării noilor tehnologii în acest domeniu.

4. CS38 (Analiza și tehnica sistemelor electroenergetice). În cadrul acestui CS activează GL 38.06 (Aplicațiile sistemelor expert în sisteme electroenergetice). Acest grup a fost creat în august 1988, este condus de prof. A. Germand și este grupul de lucru CIGRE cel mai activ pe acest domeniu. Pentru studierea mai detaliată a diferitelor aspecte ale problemei s-au format următoarele grupuri de acțiune (GA) :

GA 38.06.01 — Sisteme expert aplicate la reglajul tensiune-putere reactivă

GA 38.06.02 — Supravegherea sistemelor și tratarea alarmelor

GA 38.06.03 — Utilizarea sistemelor expert în planificarea și funcționarea sistemelor electrice. Din septembrie 1992 : Procedee de testare și întreținere a sistemelor expert

GA 38.06.04 — Utilizarea sistemelor expert în restaurarea sistemelor electrice.

GA 38.06.05 — Aplicarea sistemelor expert în procesul de învățare și antrenare a inginerilor electroenergeticieni.

GA 38.06.06 — Aplicații ale rețelelor neuronale în probleme ale sistemelor electroenergetice.

Activitatea GL 38.06 este corelată cu cea a altor grupuri din CIGRE, și anume cu :

— GA 39.03 Necesitățile utilizatorului sistemelor expert în funcționarea sistemelor electroenergetice.

— GL 25.03 Sisteme expert pentru stații electrice.

De asemenea, domnul Liu, care este șef de filă la GA 36.06.03, este în același timp și președintele grupului de lucru al IEEE, care se ocupă de aplicațiile inteligenței artificiale în sistemele electroenergetice.

Sînt și alte legături, cum ar fi cea cu IEE-Japonia, referitor la aplicațiile rețelelor neuronale.

Dintre preocupările CS 38.06 se pot remarca aspecte mai deosebite la :

G.A. 38.06.02 — Prelucrarea alarmelor și monitorizarea sistemelor electrice.

Rezultatele primei lucrări, referitor la „Examinarea proiectelor de sisteme expert pentru tratarea alarmelor" au fost publicate în Electra 139.

* Analizarea problemei utilizării sistemelor expert pentru diagnoze. Se urmărește diagnoza la nivelul rețelelor în ansamblu, al stațiilor electrice, precum și la nivelul echipamentelor.

* Examinarea sistemelor expert specializate pentru evaluarea securității statice în sisteme electroenergetice.

G.A. 38.06.03 — Analizarea procedeelor de testare și întreținere pentru aplicațiile sistemelor expert în planificarea și exploatarea sistemelor electroenergetice.

Rezultatele primei faze a activității acestui grup au fost publicate în Electra din martie 1993 sub titlul : *„Utilizarea sistemelor expert în planificarea și exploatarea sistemelor electrice"*.

În prezent GA 38.06.03 are în vedere următoarele obiective :

* Testarea sistemului expert în întreținerea bazei de cunoștințe.
* Interfața utilizator și acceptarea sa.
* Integrarea cu programele de calcul existente.
* Costul și beneficiile introducerii sistemelor expert.

Raportul parțial referitor la „Procedee de testare și modificare a datelor" a fost prezentat la Caen, martie 1993, urmînd ca raportul final să fie prezentat în sept. 1994 la Paris.

G.A. 38.06.06 — Aplicațiile rețelelor neuronale în domeniul sistemelor electrice.

Activitatea acestui grup, începută în ianuarie 1992, urmărește identificarea ariilor de interes și selectarea metodologiei de utilizare a rețelelor neuronale pentru o anumită aplicație. Într-un material de sinteză, elaborat de grup în iulie 1993, se prezintă principalele domenii de aplicație a rețelelor neuronale : prelucrarea alarmelor și diagnosticarea defectelor, evaluarea securității sistemului, prognozarea sarcinilor, dispecerizarea economică și altele. Avînd în vedere noile concepte ale rețelelor neuronale se impune și stabilirea unei terminologii adecvate.

5. CS39 (Exploatarea și conducerea rețelelor). În cadrul acestui CS activează GA 39.03 (Necesitățile utilizatorilor în materie de sisteme expert), condus de Paul van Son. Raportul „*Interesul sistemelor expert în conducerea și exploatarea rețelelor electrice*", a fost publicat în Electra din februarie 1993. Grupul de acțiune pregătește, de asemenea, un material pentru un colocviu ce va avea loc în Australia în 1993. Grupul lucrează pentru o nouă viziune a exploatării și conducerii sistemelor energetice prin utilizarea inteligenței artificiale.

Un raport final va fi prezentat la reuniunea de la Paris a CS 39 din 1994.

6. Desigur și celelalte comitete de studii au preocupări care pot fi legate de implementarea sistemelor expert în diferitele activități și instalații.

De exemplu, Comitetul de studii 12 (Transformatoare) nu folosește în lucrările sale direct conceptul de sisteme expert, dar lucrările existente în program pregătesc indiscutabil viitorul introducerii acestei tehnologii.

Astfel, GL 12.09 studiază :

— analiza gazelor dizolvate în procesul de încălzire al transformatoarelor ;

— caracteristicile termice ale transformatoarelor deduse prin măsurarea cu ajutorul fibrelor optice ;

— estimarea duratei de viață ;

— practicile de exploatare în privința funcționării în suprasarcină.

Toate cele de mai sus pot constitui ulterior baze de date și reguli pentru un sistem expert.

GL 12.14 are preocupări în legătură cu defecțiunile de funcționare și cu mentenanța.

Preocupări care se estimează că vor converge și spre tehnicile specifice sistemelor expert sînt și cele din CS 15 sau CS 21.

prof. dr. ing. MIRCEA EREMIA — U.P.B., Fac. Energetică, membru GL 38.06 al CIGRE
ing. MIHAI SĂNDULEAC — ICEMENERG secretar CNR — CIGRE
dr. ing. EUGENIU PAVEL — redactor șef al revistei Energetica

DATE ŞI COMPARAŢII—O ÎNTREPRINDERE DE ELECTRICITATE PERFORMANTĂ — ESKOM —

ESKOM, societatea de electricitate din Africa de Sud este o întreprindere de stat similară, din punctul de vedere al modului de administrare, cu EdF, ENEL sau RENEL. Ea livrează energie electrică, printr-un sistem electroenergetic unitar pe întreg teritoriul Africii de Sud, avînd 1224000 km², adică de 5,2 ori suprafaţa ţării noastre.

Africa de Sud este una din primele ţări din lume care a utilizat energie electrică în scopuri comerciale şi se poate lăuda că a introdus iluminatul stradal la Kimberley în anul 1882 (înaintea Londrei) şi că în anul 1890 oraşul a pus în funcţiune o reţea de distribuţie buclată.

Energy Supply Commission, devenită întreprinderea comercială ESKOM în anul 1987, datează din anul 1923 şi a preluat treptat producerea de energie electrică în Africa de Sud în proporţie de 97%. Ea reprezintă una din primele zece întreprinderi de electricitate din lume şi furnizează jumătate din energia consumată de întregul continent african. Ca şi în ţara noastră, principalul consumator de energie este sectorul industrial (peste 70%), iar în cadrul acestui sector ramura minieră constituie singură 40%. Este de notat că în Africa de Sud aproape jumătate din populaţie nu beneficiază de racord electric în locuinţe.

Transportul energiei cuprinde 210000 km de linii de înaltă tensiune, dintre care 21000 formează sistemul naţional. Din 1987 este în funcţiune prima linie de 765 kV în lungime de 871 km. ESKOM a facturat consumatorilor în anul 1989 134347 GWh (adică practic dublul energiei din sistemul nostru), înregistrînd o creştere de 3,7 % anual.

Centralele electrice au livrat sistemului o energie totală de 141300 GWh, cu un vîrf de putere cerută în iunie de 21871 MW. Creşterea vîrfului de putere a fost la 6,2% faţă de anul precedent. Este interesantă variaţia sezonieră a vîrfului, care în vară (ianuarie) a fost de numai circa 18500 MW.

Puterea totală instalată în sistem este de 34141 MW, din care 3825 MW sînt în rezervă rece sau în conservare. Puterea în rezervă la vîrful de sarcină din iarna 1989 a fost de 4363 MW. Acest exces de putere se datoreşte unei încetiniri a creşterilor de energie electrică, consecinţă a reducerii creşterii economice şi aduce sistemul energetic în situaţia favorabilă de a putea întreprinde acţiuni de modernizare, de îmbunătăţire şi de prelungire a duratei de viaţă în unele centrale existente. Totodată aceasta înlătură necesitatea de a prevedea noi puteri în cursul anilor 1990, în afara actualelor investiţii în curs de derulare.

Puterea disponibilă netă (sent-out) este de 32403 MW şi este realizată astfel :

CTE pe cărbune (18 centrale)	32403 MW
CTE cu turbine cu gaze (3 centrale)	390 MW
CHE (2 centrale)	540 MW
CHE cu pompare acumulare	1400 MW
CNE (o centrală cu două reactoare)	1840 MW

În plus ESKOM are o putere contractată de 1355 MW la centrala hidroelectrică internaţională de la Cabora Basa, pe fluviul Zambezi, putere indisponibilă în prezent din cauza situaţiei conflictuale între ţările din Africa Australă.

Este de remarcat că practic toată puterea de bază a sistemului este realizată pe cărbune, din categoria cărbunilor cu puteri calorice de 12000 —15000 kJ/kg. În sistemul ESKOM se găsesc în exploatare 27 blocuri cu putere între 600 — 686 MW, 6 de 500 MW, 6 de 350 MW şi 30 de 200 MW. Dintre centralele termoelectrice pe cărbune se distinge centrala Matimba 4 × 665 MW integral răcită cu aer şi blocul de la Kendal 686 MW, cea mai mare unitate din lume răcită cu aer. Ambele instalaţii se găsesc în zonă deşertică, tropicală.

Cele două unităţi nucleare, de tip PWR, 2 × 965 MWe se află instalate la Cape Town.

În construcţie se află un număr de nouă blocuri pe cărbune cu puteri unitare 600 MW, cu termene de punere în funcţiune pînă în 1993 şi şase cu punere în funcţiune pînă în 2001, totalizînd o putere la borne de 10091 MW, respectiv o putere netă de 9448 MW; majoritatea sînt răcite cu aer.

Disponibilitatea totală de timp a centralelor electrice a fost de 78,1% în 1989 faţă de 1988, cu opriri planificate de 11,9% şi de opriri forţate de 10% (1988 : 8,1%). Factorul de încărcare al grupurilor a fost de 66%.

Randamentul centralelor electrice pe cărbune (net) a fost de 33,6%. Cea mai bună unitate, folosind cărbune a atins randamentul mediu net de 35,8% (grupuri CTE Tutuka, 5 × 609 MW). Este de remarcat totuşi efectul nefavorabil al răcirii cu aer în zonă cu climat tropical.

În anul 1989 în centralele ESKOM s-au folosit 67,5 mil. tone cărbune, cu o creştere de 4,7% faţă de anul precedent, iar preţul cărbunelui a crescut cu 11,5%.

Preţul mediu al energiei electrice a crescut în anul 1989 cu 9,5%-faţă de anul precedent,

în timp ce indicele de ansamblu al preţurilor a marcat în aceeaşi perioadă o inflaţie de 15,2%. Creşterile de costuri de producere / kWh au fost de 11,15% şi de costuri pentru energia distribuită de 11,47% raportat la creşterea costului energiei primare/kWh de 17,2%.

ESKOM şi-a desfăşurat activitatea avînd, la 31 decembrie 1989, 51550 salariaţi, cu 5180 mai puţin decît anul precedent. (Comparativ RENEL are aproape 80000 salariaţi). Productivitatea muncii a fost de 2,61 MWh/salariat, respectiv 1,51 salariaţi/MW instalat. Sînt de interes cifrele statistice legate de protecţia şi securitatea muncii în sistemul energetic al Africii de Sud şi anume 2,08 accidente cu pierdere de capacitate de muncă la un milion de ore muncă şi 0,77 accidente mortale pentru cinci milioane ore muncă (0,5 în 1988).

Politica de pregătire a cadrelor este un factor cheie în strategia ESKOM, care în condiţiile politico-sociale din Africa de Sud are în vedere o acţiune amplă de identificare, atragere şi utilizare a potenţialului uman corespunzător meseriilor necesare.

Se foloseşte filozofia de stabilizare şi de înlocuire a cadrelor pe principiul „nici o pierdere potenţială" — „No potenţial lost", punîndu-se preţ pe formarea şi dezvoltarea viitorilor angajaţi pe termen lung. Astfel au fost acordate cursuri de pregătire şi burse în anul 1989 pentru 2366 tineri, dintre care 644 de ucenici, 460 viitori tehnicieni, 895 burse universitare şi 367 stagii de antrenament pentru tinerii absolvenţi.

ESKOM este condus de un consiliu al directorilor constituit din cei nouă directori şi dintr-un consiliu de administraţie „Electricity council" constituit din 18 personalităţi din lumea financiară, industrială şi ştiinţifică.

În cursul anului 1989, au fost făcute analize avansate legate de privatizarea acestei întreprinderi la cererea ministrului resurselor minerale, energiei şi a întreprinderilor publice. Aceasta ar duce la un nou statut al întreprinderii, cu implicaţii financiare, cu modificări de taxe şi mai ales cu pierderea unui privilegiu, pînă acum esenţial, existent în prezent prin lege : obligaţia investitorilor instituţionalizaţi din Africa de Sud de a plasa o parte semnificativă a disponibilităţilor lor în sectorul energetic.

prof. dr. ing. COSTIN ST. MOŢOIU
Universitatea Politehnică Bucureşt

Informaţii

Universitatea din Lodz împreună cu Universitatea din Liege şi cu AIM ne informează că al VI-lea Simpozion International cu tema : **Curenţii de scurtcircuit în sistemele electroenegetice** va avea loc la Liege (Belgia) în perioada 6—8 septembrie 1994 sub conducerea ştiinţifică a unui comitet internaţional.

Simpozionul este găzduit de AIM (Asociaţia inginerilor care au absolvit Institutul Electric de la Montefiore) la Liege.

Subiectele preferenţiale care pot fi dezvoltate fac parte din grupele :

1. Calcule şi măsurători pentru evaluarea curenţilor de scurtcircuit
2. Efectele electromagnetice, termice şi mecanice ale curenţilor de scurtcircuit
3. Limitarea şi protecţia curenţilor de scurtcircuit
4. Efectele de arc în timpul scurtcircuitelor interne şi externe asupra izolaţiei diferitelor materiale

Se atrage atenţia că problemele de stabilitate în sistemele electroenergetice nu fac parte din subiectele simpozionului.

Se va organiza şi o masă rotundă cu subiectul : **„Evaluarea puterii de scurtcircuit într-o reţea industrială de medie tensiune (luîndu-se în consideraţie şi maşinile rotative)"**

Se vor organiza şi vizite tehnice.

Limba de lucru va fi **exclusiv limba engleză.**

Propunerile de lucrări trebuie trimise la organizatori pînă la 31 octombrie 1993, urmînd ca exemplarele „in extenso" să fie trimise pînă la 15 mai 1994

Pentru amănunte şi informaţii suplimentare vă puteţi adresa doamnei :
Chantal Lacrose c/o AIM
rue Saint — Gilles, 31 B-4000 LIEGE (Belgium)
Int. Phone : + 3241222946 — Int. Fax : + 3241222388

De la Comitetul Național Român al CIGRE

Comitetul Național Român al Conferinței Internaționale a Marilor Sisteme Energetice la Înaltă Tensiune — CIGRE vă transmite următoarele :

1. Conferința Internațională a Marilor Sisteme Electroenergetice—CIGRE este bine cunoscută în comunitatea tehnico-științifică internațională prin rolul preponderent pe care îl are în mod tradițional în domeniul electroenergeticii.

2. Sesiunile bienale (în anii pari) care au loc la Paris (unde se află și sediul organizației) reprezintă evenimente tehnico-științifice care se bucură de un interes deosebit pe plan mondial, fiind punte de confluență atît a specialiștilor din diferite țări, cît și a celor mai recente informații și analize privind realizările de care se ocupă organizația.

3. Mai puțin cunoscută, deși de o cel puțin tot atît de mare importanță este activitatea ce se desfășoară și între sesiuni în cele 15 comitete de studii și peste 100 grupe de lucru internaționale. În aceste organisme de lucru se duce activitatea premergătoare de confruntare/conlucrare a cercetătorilor și specialiștilor care, indiferent de locul lor de muncă, au idei creatoare și rezultate interesante din care se cristalizează (pe plan mondial) punctele de vedere ce fac obiectul subiectelor preferențiale și al unora dintre rapoartele ce se prezintă ulterior la sesiunile bienale ale CIGRE.

4. Țara noastră, după o perioadă dificilă prin care a trecut și în această privință, culminînd cu încetarea recunoașterii și legăturilor CNR cu organizația în anul 1986, este din nou o prezență activă în CIGRE. Există 12 membri colectivi ai CIGRE din România, au fost prezentate rapoarte românești și au fost prezenți participanți români la ultimele două sesiuni bienale. Există trei membri titulari și șapte membri observatori în Comitetele Internaționale de Studii.

5. În condițiile economice dificile de la noi, posibilitățile de participare efectivă la manifestări internaționale sînt limitate, lucru care face cu atît mai necesară valorificarea informațiilor procurate. Astfel, la biblioteca CNR a CIGRE există rapoartele sesiunilor bienale din 1990 și 1992, colecția revistei ELECTRA, precum și alte documentații care au fost insuficient valorificate.

6. În aceste condiții, CNR-CIGRE are în vedere atragerea unor cadre (specialiști) care să sporească și să întinerească prezența românească în această importantă organizație. Avem în vedere formarea unui colectiv de lucru cu activitate permanentă, atașat CNR-CIGRE, alcătuit din specialiști activi pe specificul fiecărui comitet de studii, colectiv din care se vor propune noi membri români în grupurile de lucru și în comitelele de studii CIGRE.

CNR-CIGRE așteaptă în acest sens propuneri sau solicitări din partea persoanelor interesate care să răspundă neapărat și cumulativ următoarelor condiții :

— competența în domeniul de specialitate al comitetului de studii sau al grupului de lucru respectiv ;

— cunoașterea cursivă a cel puțin uneia din cele două limbi oficiale CIGRE, engleza sau franceza, în sensul posibilității susținerii fluente a unei conversații de specialitate ;

— vîrsta sub 40 ani, persoane cu institutul de învățămînt superior absolvit ;

— disponibilitatea pentru prelucrarea sub formă de sinteze și comentarii a unor materiale CIGRE și în primul rînd al celor disponibile la CNR-CIGRE, în scopul valorificării lor pentru toți cei interesați. În acest sens grupul de specialiști va lucra sub directa îndrumare a secretarului CNR, în scopul corelării eficiente a acestor activități.

Participarea la grupele de lucru din cadrul CNR se poate face și prin corespondență.

7. CNR așteaptă propunerile dvs. Pentru răspunsurile dvs. și pentru lămuriri suplimentare, cei interesați se vor adresa la :

CNR-CIGRE
c/o ICEMENERG
ing. Mihai Sănduleac
Bd. Energeticienilor 8, 74568 București
Tel. 321.69.66/286, Fax 312.93.15

În speranța unei colaborări agreabile, al dvs.

Președinte CNR-CIGRE
Dr. ing. CĂLIN MIHĂILEANU

DRĂGAN, G. **Supratensiuni atmosferice în instalații electroenergetice,**
Ed. Academiei Române, București, 1992, 408 p.

Este cunoscut faptul că supratensiunile produse de trăsnet constituie una dintre cauzele majore ale incidentelor din instalațiile electroenergetice, justificînd astfel interesul deosebit acordat — pe plan mondial și intern — acestor tipuri de supratensiuni.

Lucrarea prof. dr. ing. Gleb Drăgan, membru corespondent al Academiei Române, acoperă un gol în literatura de specialitate românească, reprezentînd sinteza unui important material bibliografic foarte actual și a studiilor originale efectuate de autor în cadrul Institutului de Cercetări Energetice al Academiei Române și în Institutul Politehnic București.

Capitolul 1 al lucrării este consacrat analizei evoluției metodelor de calcul și de studiu a supratensiunilor atmosferice.

Capitolul 2 privind propagarea undelor de tensiune, comportă două părți : propagarea undelor de tensiune pe linii și propagarea undelor de tensiune în transformatoare și mașini electrice.

În prima parte se analizează parametrii liniilor electrice lungi, constanți și tranzitorii, definiți — în particular — în prezența apariției descărcării corona de impuls în jurul conductoarelor și se studiază propagarea undelor de tensiune pe linii electrice multiconductoare fără pierderi și cu pierderi. Se prezintă o serie de metode de evaluare a tensiunii într-un punct al liniei pe care are loc propagarea, printre care citățm : procedeele de calcul al reflexiilor succesive (metoda diagramei — rețea, metoda undelor călătoare și metoda caracteristicilor), metoda undei echivalente propusă de Kostenko, metoda spectrală (folosind transformata Fourier), metoda componentelor modale și se efectuează o analiză critică a acestora, recomandîndu-se situațiile cele mai favorabile de aplicații. Se analizează, totodată, deformarea frontului undei de impuls de tensiune, care se propagă pe o linie în prezența descărcării corona.

În cea de a doua parte se studiază propagarea undelor de tensiune în transformatoare și mașini electrice, avîndu-se în vedere faptul că solicitarea izolației acestora este determinată atît de supratensiunile interne, cît și de cele atmosferice. Costul ridicat al izolației impune evaluarea cît mai corectă a acestor solicitări. În lucrare se prezintă calculul parametrilor schemei electrice echivalente (capacități, inductivități proprii și mutuale), se studiază propagarea undelor de tensiune de-a lungul înfășurărilor unui autotransformator sau transformator mono-sau trifazat, ca și transmiterea tensiunilor de impuls între înfășurările transformatorului. Se prezintă, într-o formă succintă, procesele de propagare în mașini electrice.

În **capitolul 3** se descriu principalele metode folosite pentru evaluarea supratensiunilor atmosferice. Aceste supratensiuni apar la căderea trăsnetului în apropierea unor linii electrice aeriene, în faza descărcării principale a trăsnetului. Avînd în vedere faptul că pentru calculul supratensiunilor induse se folosește — în mod uzual — metoda potențialelor electrodinamice retardate, în lucrare sînt prezentate cîmpurile electromagnetice asociate trăsnetului, evaluate pe baza acestor potențiale și — în continuare — se studiază metoda de calcul al supratensiunilor atmosferice induse propusă de Rusk, ca și modelul lui Agrawal, Price și Garbaxani.

Capitolul 4 este rezervat supratensiunilor atmosferice provenite din loviturile directe ale trăsnetului în liniile electrice aeriene și protecției contra supratensiunilor atmosferice. Se precizează o serie de noțiuni, mărimi și relații de calcul privind supratensiunile atmosferice, ca : impedanța caracteristică a unui stîlp, circuite echivalente în punctul de impact al trăsnetului (vîrful stîlpului, conductorul de protecție sau conductorul activ), parametrii de cuplaj între conductoare în prezența descărcării corona.

O parte importantă a acestui capitol o ocupă analiza unor metode de calcul al supratensiunilor atmosferice provocate de loviturile directe ale trăsnetului pe linii electrice aeriene : metoda undelor călătoare cu considerarea componentei electrice a supratensiunilor induse în conductorul activ, metoda tensiunii de buclă propusă de R. Lundholm, metoda anulării cîmpului propusă de C. F. Wagner și metoda unitară de calcul al supratensiunilor atmosferice provocate de loviturile directe șiindirecte ale trăsnetului propusă de D. V. Razevig, detaliată pentru diferite puncte de incidență a trăsnetului.

Pe baza unor rezultate experimentale, parte din ele obținute în laboratorul de tehnica tensiunilor înalte din Universitatea Politehnică București, se calculează conturnarea lanțului de izolatoare și posibilitatea de deconectare a unei linii electrice aeriene, folosind curba curenților periculoși și metoda Monte Carlo.

De asemenea, sînt prezentate o serie de programe de calcul folosite pentru analiza comportării liniilor la acțiunea supratensiunilor atmosferice și rezultatele obținute pentru o serie de linii electrice aeriene cu tensiuni nominale între 110 și 750 kV, din țara noastră. În partea finală a capitolului 4 se analizează diferite mijloace de

protecție a liniilor electrice de înaltă tensiune contra supratensiunilor atmosferice.

În **capitolul 5** se studiază supratensiunile atmosferice în stațiile electrice și protecția stațiilor și a mașinilor electrice contra acestor supratensiuni. Se analizează supratensiunile atmosferice în stațiile electrice convenționale (stații electrice cu izolații de aer — SIA) și protecția contra acestora în cazul loviturilor directe de trăsnet sau a undelor de supratensiune incidente de pe linii, pentru instalații de înaltă, medie și joasă tensiune.

Un loc important este rezervat supratensiunilor atmosferice în stații electrice cu izolație de gaze (SIG) — în particular SF_6 — , care prezintă o serie de particularități din punctul de vedere al comportării la aceste tipuri de solicitări electrice.

În continuare se analizează, folosind un model simplificat și metoda Monte Carlo, intensitatea curentului electric prin descărcătoarele cu rezistență variabilă, se prezintă o serie de concluzii, foarte utile, privind protecția stațiilor electrice și a posturilor de transformare contra undelor de tensiune, ca și protecția mașinilor electrice contra undelor de supratensiune atmosferică.

În sfîrșit, **ultimul capitol** al lucrării este dedicat problemelor de coordonare a izolației. După ce se definesc o serie de noțiuni și mărimi tipice, se analizează caracteristicile dielectrice ale izolației autoregeneratoare (singulare sau multiple) și cele ale izolației neautoregeneratoare, se determină posibilitatea de descărcare (de străpungere) a unei izolații și se studiază o serie de aspecte de protecție contra supratensiunilor.

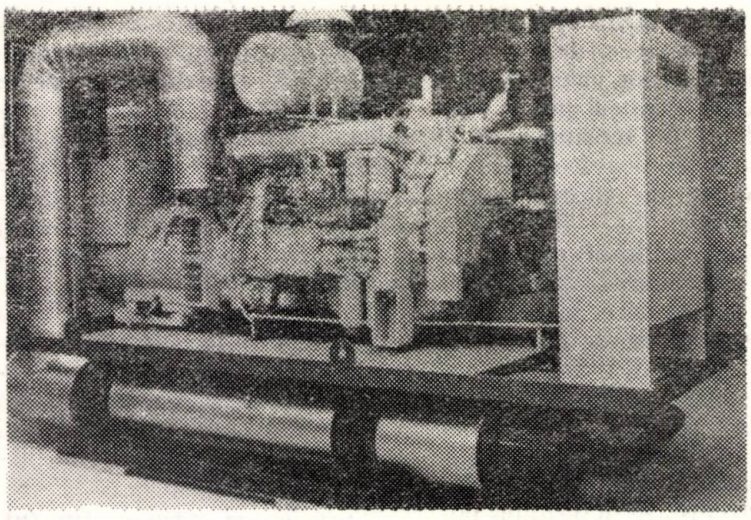
În final se fac o serie de considerații asupra criteriilor de coordonare a izolației instalațiilor electroenergetice în funcție de domeniul de tensiune (A, B, C) și de considerarea sau neglijarea caracterului aleatoriu al unor procese.

Analiza sumară a conținutului lucrării pune în evidență faptul că aceasta tratează o largă gamă de aspecte ale problemei protecțiilor instalațiilor electroenergetice contra supratensiunilor atmosferice, aducînd o contribuție importantă la îmbogățirea literaturii de specialitate din țara noastră.

Se remarcă aportul original al autorului la conținutul lucrării, bazat pe o serie de cercetări personale sau realizate în colective pe care le-a condus și inspirat în îndelungata sa activitate științifică.

Apreciem că, prin conținutul, forma și nivelul ei, prin importanța și complexitatea problemelor prezentate, ca și prin contribuțiile originale, lucrarea va avea o largă audiență în rîndul specialiștilor, fiind recomandată cercetătorilor, doctoranzilor, inginerilor proiectanți, precum și studenților din domeniul electroenergetic.

Conf. dr. ing. PETRU POSTOLACHE



The Company
B E T A
Public Relations B. V.
Lange Voorhout 16
Tel. 070-3 65 38 02*
2514 EE Den Haag
Holland
informs us:

LANG ENERGY SYSTEMS INTRODUCE NEW RANGE OF DIESEL-DRIVEN CHP SETS

Lang Energy Systems B,V. of Apeldoorn ** have introduced a new range of diesel-powered Eurotec combined heat and power (CHP) sets on the European market.
The diesel-driven CHP sets are specially intended for use in situations where no gas supply is available.
The sets are built according to the Eurotec principle on which the gas-engine driven CHP sets marketed by Lang Energy Systems are based. The diesel-driven units are equipped with an engine--water heat exchanger. exhaust gas heat exchanger, oil make-up system, and swithch-panel for parallel mains operation and controls.

Eurotec 205D

The standard model 205D of the diesel-powered CHP unit has an electric output of 206 kW and a thermal output of 239 kW. The set measures 3500 mm in length, 1505 mm in width 2250 mm in height, and weighs 3500 kg.
The Eurotec 205D is equipped with a six-cylinder Iveco Aifo type 8210 SRI 15, with a cylinder capacity of 13,789 cc. The turbocharged engine is fitted with aftercooling, and drives a brushless Stamford three-phase generator type HC 434 E.
It runs at 1500 min^{-1}.
Eurotec diesel-driven CHP sets can also be supplied with an engine and generator to customer specification.
The Eurotec CHP units were developed with compactness in mind, so that their installation in existing technical areas and integration in existing systems is a simple job.
The units are so assembled as to optimize accessibility of the engines and main components, thereby improving ease of maintenance and saving costs.
The units are equipped with state-of-the-art PLC technology, enabling communication with the PLC via a text display. Temperature readouts are shown in digital form, so the results of heat and output measurements can be read directly on the display.
Another outstanding feature is that the CHP sets are supplied as standard with a thyristor-controlled battery charger with a low heat production and high efficiency.
Where insufficient room is available in existing technical areas, the Eurotec unit can be supplied in a concrete prefab station equipped with complete wiring, exhaust system, ventilation, extra coolers and sound-proof doors. A soundproofing enclosure is capable of limiting noise emission to virtually any level desired.
Because the sets are equipped with synchronous generators, island operation is possible.

All Eurotec CHP units are fitted with a fully wired control and operating panel. Messages are displayed in text form on-screen.

* P. O. Box 231, 7300 AE Apeldoorn, the Netherlands, tel (0)55-419333, fax (0)55-331691
** Lang Energy Systems B.V. of Apeldoorn, the Netherlands, have introduced a new range of diesel-powered Eurotec combined heat and power (CHP) sets on the European market

CONTENTS

EDITORIAL 199

EXPERT SYSTEM APPLICATIONS IN POWER SYSTEMS

MIRCEA EREMIA, MIHAI SĂNDULEAC: An introduction to expert systems — General aspects 200—215

MIHAI MOGA, LIVIU VARSANDAN: Contributions on the achievement of expert systems for the reconfiguration operations of the electric distribution networks 216—222

VIRGIL MUŞATESCU, MIHAIL POPESCU, ILIE PRISECARU: Expert system for the diagnose of the DSL-50 unit condenser system 223—227

MIHAI SĂNDULEAC, MĂLINA IFTIMIE, MARIUS IFTIMIE: Feed-forward and Kohonen neural networks — implementation solutions and behaviour studies 228—236

TERMINOLOGY

* * * Suggestions for a terminology in the field of the artificial intelligence 237—238

ENERGY WORLDWIDE

MIRCEA EREMIA, MIHAI SĂNDULEAC, EUGENIU PAVEL: CIGRE concerns in the field of artificial intelligence techniques utilization 239—240

COSTIN MOŢOIU: Data and comparisons — a performant electricity enterprise — ESKOM 241—242

FROM THE ROMANIAN NATIONAL COMMITTE OF GIGRE 243

NEWS 215, 242

REVIEWS 244—245

INHALT

LEITARTIKEL 199

XP ERT SYSTEME — ANWENDUNG IN DEN ENERGIESYSTEMEN

MIRCEA EREMIA, MIHAI SĂNDULEAC: Einführung in die Expert-Systeme. Allgemeine Aspekte 200—215

MIHAI MOGA, LIVIU VARSANDAN: Beiträge zur Herstellung von Expert-Systemen für Rekonfigurationsoperationen der elektrischen Verteilungsnetze 216—222

VIRGIL MUŞATESCU, MIHAIL POPESCU, ILIE PRISECARU: Expert-Systeme für die Diagnose des Kondensators der Gruppe DSL-50 223—227

MIHAI SĂNDULEAC, MĂLINA IFTIMIE, MARIUS IFTIMIE: „Feed-forward" und „Kohonen" Neuronale Netze — Lösungen für die Implementierung und Verhaltensstudien 228—236

ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE TERMINOLOGIE

* * *: Vorschläge für eine Terminologie in Bereich der künstlichen Intelligenz 237—238

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT

MIRCEA EREMIA, MIHAI SĂNDULEAC, EUGENIU PAVEL: Beschäftigungen CIGRE im Bereich der Einsetzung der künstlichen Intelligenz 239—240

COSTIN MOŢOIU: Daten und Vergleiche — ein Performanz — Elektrizitäts werk — ESKOM 241—242

VON DEM RUMÄNISCHEN NATIONALKOMITEES DER CIGRE 243

INFORMATIONEN 215, 242

BUCHBESPRCHUNGEN 244—245

SOMMAIRE

EDITORIAL 199

LES APPLICATIONS DES SYSTEMES EXPERTS DANS LES RESEAUX D'ENERGIE

MIRCEA EREMIA, MIHAI SĂNDULEAC: L'introduction des systèmes experts. Vues générales 200—215

MIHAI MOGA, LIVIU VARSANDAN: Contributions concernant la réalisation des certains systèmes experts pour les operations de reconfiguration des réseaux électriques de distribution 216—222

VIRGIL MUŞATESCU, MIHAIL POPESCU, ILIE PRISECARU: Système expert pour la diagnose du condensateur du groupe DSL-50 223—227

MIHAI SĂNDULEAC, MĂLINA IFTIMIE, MARIUS IFTIMIE: Réseaux neuronales feed-forward et Kohonen — solutions d'implementation et des études de comportament 228—236

LA TERMINOLOGIE ÉNERGÉTIOUE

* * * Propositions pour une terminologie dans la domaine de l'inteligence artificielle 237—238

DE L'ENERGETIQUE DU MONDE

MIRCEA EREMIA, MIHAI SĂNDULEAC, EUGENIU PAVEL: Les preocupations CIGRE dans le domaine de l'utilisation des techniques de l'intelligence artificielle 239—240

COSTIN MOŢOIU: Données et comparaisons — une entreprise d'électricité performante — ESKOM 241—242

DE LA PARTE DU COMITÉ NATIONAL ROUMAIN DU CIGRE 243

RENSEIGNEMENTS 215, 242

COMPTE—RENDUS 244—245

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕДОВАЯ СТАТЬЯ 199

УПРБВЛЕНИЕ И БВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

МИРЧА ЭРЕМИЯ, МИХАИ СЭНДУЛЕАК: Внедре ние эксперт-систем. Общие положения 200—215

МИХАЙ МОГА, КИВИУ ВАРШАНДАН: Вклады в осуществление эксперт-систем для операций по переконфигураций электрораспределительных сетей 216—222

ВИРДЖИЛ МУШАТЕСКУ, МИХАЙЛ ПОРЕСКУ, ИЛИЕ ПРИСЕКАРУ: Эксперт-система диагностики конденсатора блока ДСЛ—50 223—227

МИХАЙ СЭНДУЛЕАК, МЭЛИНА ИФТИМИЕ, МАРИУС ИФТИМИЕ: Нейронные сети „feed-forward" и Кохонен—решения по их внедрению и исследования их поведения 228—236

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЬ ТЕРМИНОЛОГИЯ

* * * Предложения по терминологии в области искусственного разума 237—238

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

МИРЧА ЭРЕМЪЯ, МИХАЙ СЭНДУЛЕАК, ЭУДЖЕНИУ ПАВЕЛ: Деятельность СИГРЭ я область применения техник искусственного разума 239—240

КОСТИН МОЦОЮ: Данные и сравнения—передовое предприятие электричесва—ЕСКОМ 241—242

ОТ РУМЫНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО КОМИТЕТА CIGRE 243

СПРАВКИ 215, 242

ВЕЦЕНЗИЯ 244—245

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONT KÖNYVTÁR 1983 ORSZÁGOS

HIDROCONSTRUCTIA S.A.

103-105 Calea Dorobanti
Sector 1 Code 71.223
Bucharest-Romania

Tel:(40-1-)679.64.30
Telex:10244 R
Fax:(40-1-) 312.97.64

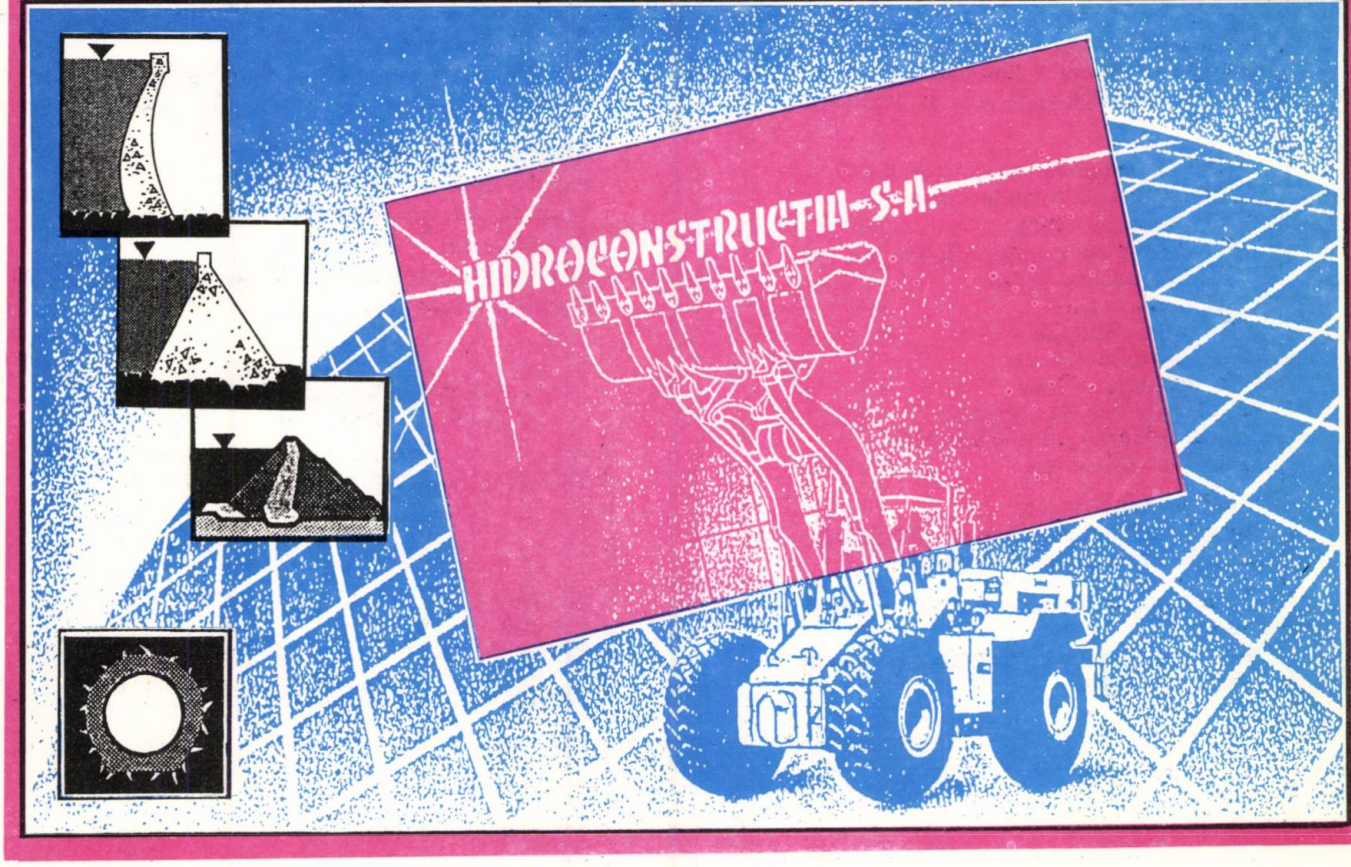
BUSINESS INITIATIVE DIRECTIONS · BID ·

Execută:

* BARAJE DIN BETON (de greutate, in arc, cu contraforti)
* BARAJE DIN PAMINT, ANROCAMENTE SI ALTE MATERIALE LOCALE
* CENTRALE HIDROELECTRICE DE SUPRAFATA SI SUBTERANE
* ECLUZE, PORTURI, DRAGAJE
* CANALE, CONDUCTE, BLINDAJE
* GALERII DE ADUCTIUNE, DE FUGA, GALERII SECUNDARE, PRIZE DE APA
* STATII DE POMPARE, SISTEME DE IRIGATII
* LUCRARI DE FORAJE SI INJECTII
* LUCRARI SPECIALE: INCINTE BATARDOURI CELULARE, DEROCARI SUB APA BETOANE PRECOMPRIMATE
* ECRANE DE ETANSARE, PERETI MULATI
* STATII DE SORTARE SI ALTE INSTALATII TEHNOLOGICE
* DRUMURI, AUTOSTRAZI, PODURI, VIADUCTE
* CONSTRUCTII INDUSTRIALE SI CIVILE
* CONFECTII METALICE, PREFABRICATE DIN BETON, AGREGATE
* SCULE DE MINERIT, BURGHIE
* TRANSPORTURI AUTO DE MARFURI SI MATERIALE
* ACTIVITATE DE TURISM

A executat:

115 CENTRALE HIDROELECTRICE CU O PUTERE INSTALATA DE 5.850 MW
118 BARAJE CU O CAPACITATE DE RETENTIE DE 10.800.000.000 MC



INSTITUTUL DE STUDII SI PROIECTARI ENERGETICE

INSTITUTE OF POWER STUDIES AND DESIGN

Studies
Design
Consulting
Engineering
Tech. assistance
Commissioning
Computer services

Turn Key Projects

Thermal and nuclear power plants
Electric transmission lines
Transformer substations
Town heating networks
High pressure and temperature piping

GENERAL CONTRACTOR

ISPE

REFERINŢE

ROMANIA - proiectare pentru sistemul energetic naţional şi alte industrii:
CET, CTE, CNE, staţii şi linii electrice

EXPORT - engineering şi proiectare:
Algeria, Peru, Germania, Cehia
CTE Singareni - India
CET El-Mex Alexandria - Egipt
CTE Hamrawein - Egipt
CET Banias - Siria
CTE Cebu - Filipine
CET Anatolia - Turcia
CET Pucheng - China
CT: Berlin, Dresda, Leipzig, Neubrandenburg, Halle, Rostock, Schwerin - Germania

Staţii de transformare:
Bangladesh, Maroc, Nigeria, Yugoslavia, Siria, Pakistan, Irak, Columbia

Linii electrice aeriene cu circuit simplu si dublu:
Iran, Irak, Egipt, Liban, Iordania, Pakistan Malaezia, Cipru

SERVICIILE OFERITE DE ISPE

Estimări privind opţiunile energetice
Studii de fezabilitate
Studii de fundamentare şi amplasament
Evaluări economice
Studii privind amplasarea centralelor şi staţiilor electrice
Analiza privind factorii de risc şi studii de optimizare a proiectelor

Proiecte de detaliu pentru lucrări electrice, mecanice şi de construcţii
Contracte şi specificaţii
Caiete de sarcini
Analize tehnice şi compararea propunerilor şi ofertelor
Tratative pentru încheierea de contracte
Avizări proiecte
Grafice de realizare a proiectelor
Inspectarea, testarea şi controlul calităţii centralelor şi staţiilor electrice

Metodologii pentru asigurarea calităţii
Inspectarea echipamentelor
Testarea în fabrica furnizoare
Supravegherea lucrărilor de construcţii şi montaj
Asigurarea documentaţiilor finale şi a instrucţiunilor de exploatare

Programe de probe şi teste
Punere în funcţiune şi remedieri
Şcolarizarea personalului de exploatare şi întreţinere
Urmărirea funcţionării iniţiale şi în exploatare a instalaţiei proiectate

1994 AUG 05

With 45 years of experience
Your success is in our Power!

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI ENERGETICE

ISPE

Bd. Lacul Tei nr. 1 BUCUREŞTI 72301
P.O. Box 30 - 33 Tel. (40.1) 610.70.80
Tx. 10978 ISPE r Fax (40.1) 312.36.20
Măgurele P.O. Box 5204 Fax: (401) 3123930